

KONSTANZER MANAGEMENTSCHRIFTEN BAND 9

THOMAS SCHEPP, MARKUS STRAUB, CARSTEN MANZ: AUTOMOBILANTRIEBE IM WANDEL

KONSTANZER MANAGEMENTSCHRIFTEN

Thomas Schiepp, Markus Straub, Carsten Manz

AUTOMOBILANTRIEBE IM WANDEL

Zunehmende Elektrifizierung
und Hybridisierung
des Automobylantriebs

Carsten Manz (Hrsg.)



AUTOMOBILANTRIEBE IM WANDEL

Zunehmende Elektrifizierung und
Hybridisierung des Automobilantriebs

KONSTANZER MANAGEMENTSCHRIFTEN

Herausgegeben von Carsten Manz

Band 9

Thomas Schiepp, Markus Straub, Carsten Manz

AUTOMOBILANTRIEBE IM WANDEL

Zunehmende Elektrifizierung und Hybridisierung des Automobylantriebs

Konstanz, Februar 2011

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie,
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Konstanzer Managementschriften: ISSN 1862-7722

ISBN 978-3-939638-16-1 (Druckausgabe)

ISBN 978-3-939638-17-X (PDF)

1. Auflage, 2011

© 2011

Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung

University of Applied Sciences

Brauneggerstraße 55

D-78462 Konstanz

Telefon: +49-7531-206-0

www.htwg-konstanz.de

Gesamtherstellung: Junge Medien, 78647 Trossingen, www.jungemedien-online.de

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk einschließlich aller seiner Inhalte ist urheberrechtlich geschützt. Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verfassers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Verfilmungen, Mikroverfilmungen, Übersetzungen, und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Geleitwort des Herausgebers

Mit den „Konstanzer Managementschriften“ wird das Ziel verfolgt, Ergebnisse angewandter Forschungsaktivitäten im Bereich Management einem größeren Kreis interessierter Manager und Forscher in gedruckter und elektronischer Form zur Verfügung zu stellen.

Anlässlich der Feier zum 125. Geburtstag des Automobils gilt es nicht, sich auf den Lorbeeren auszuruhen, sondern vielmehr auf einen Wandel hin zur Elektromobilität einzulassen. In den nächsten zehn Jahren wird sich zeigen, ob der deutsche Automobilbau sich in rechtem Maße mit der Vision Elektroauto auseinander gesetzt haben wird. Bislang waren vor allem staatliche Anreize oder aber Aktivitäten von Wettbewerbern außerhalb Deutschlands treibende Größen für den „grünen Vorstoß“ in der Automobilindustrie. China ist bereits flächendeckend elektrisch mobil, wenn auch zunächst überwiegend im Zweiradbereich. Die enorme Produktionsbasis ist eine gute Grundlage für die weitere Entwicklung. Dennoch fehlen auch in China noch flächendeckende Standards, obwohl bereits Ladestationen im Wert von rund 30 Millionen Euro verbaut wurden. Nun gilt es auch am Standort Deutschland die richtigen strategischen Entscheidungen zu treffen. Vielerorts wird über Elektromobilität diskutiert. Ein fundiertes Verständnis über den Wandel des Automobilantriebs und die bestehenden Chancen und Risiken ist jedoch leider noch immer nicht überall gegeben. Hier soll der vorliegende Band der „Konstanzer Managementschriften“ einen entsprechenden Beitrag zu einer übersichtlichen Darstellung und Einschätzung geben.

Die vorliegende Ausarbeitung stellt einen Teil des an der Hochschule Konstanz verfolgten Ansatzes im Rahmen des Technologie- und Innovationsmanagements dar. In der Regel wird eine Betrachtung von Technologiethemen aus zwei Perspektiven angestrebt. Zum einen handelt es sich um die Perspektive der Technologiepotenziale und zum anderen um die Perspektive des Systemumfeldes und den hieraus abzuleitenden zukünftigen Anforderungen potenzieller Kunden. In dem vorliegenden Band erfolgt ausschließlich eine Darstellung und Einschätzung möglicher Antriebsversionen, um einen Überblick über aktuelle Diskussionspunkte zu geben.

Prof. Dr.-Ing. Carsten Manz

Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Vorwort der Autoren

Die Motivation dieses Buch zu verfassen, entstand durch die mehrjährige berufliche Tätigkeit der beiden Autoren Schiepp und Straub sowie der Lehr- und Forschungsaktivitäten von Prof. Manz im Bereich des Technologie- und Innovationsmanagements. Thomas Schiepp war zunächst als Entwickler für die Automobilindustrie tätig und arbeitet jetzt als Grundlagenforscher in der Magnettechnik. Markus Straub war zunächst Produktionsplaner, inzwischen ist er Planer für globale Prozesse und Materialflüsse.

Gerade für die Zulieferindustrie ist es nur schwer vorherzusehen welche Technologien sich in Zukunft auf dem Automobilsektor durchsetzen könnten. Dennoch haben die OEMs (Original Equipment Manufacturer) die Entwicklungskompetenzen in einigen Bereichen an eben diese Zulieferer abgegeben. Dies eröffnet dem Zulieferer zwar die Chance ein kompetenter Entwicklungspartner zu sein und somit auch den OEM stärker an sich zu binden, birgt aber auch die Gefahr in einer technologischen Sackgasse zu landen.

Im Rahmen einer Technologieanalyse entstand dieses Buch, welches den aktuellen Stand der Technik an automobilen Antriebsalternativen untersucht und einen Ausblick in die Zukunft gewährt.

Bedanken möchten wir uns an dieser Stelle bei allen Personen, welche zur erfolgreichen Umsetzung dieses Buchprojekts beigetragen haben. Besonderer Dank gilt Nadine Schiepp.

Wir hoffen dem Leser eine interessante und aufschlussreiche Lektüre bieten zu können und Denkanstöße für die weitere Forschung zu geben.

Konstanz, im Februar 2011

Thomas Schiepp, Markus Straub, Carsten Manz

Kurzreferat

Der Automobilantrieb ist eng mit dem globalen wirtschaftlichen Erfolg und dessen Wachstum verbunden. Nie zuvor konnten größere Distanzen von so vielen Individuen und Gütern in so kurzer Zeit zurückgelegt werden. Aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen und ökologischen Lage sind die Automobilbauer gefordert Antriebe zu entwickeln, die möglichst geringe Emissionen mit einem maximalen Wirkungsgrad und dennoch großen Reichweiten ermöglichen.

Dabei verfügt der Automobilmarkt über eine große Vielfalt und aufgrund der zunehmenden Anforderungen und regional abhängigen Randbedingungen (Gesetze, Emissionsanforderungen, etc.), sowie den Interessenkonflikten bei den Herstellern, über eine hohe Komplexität.

Auch der zukünftige Endverbraucher hat Anforderungen an sein Fahrzeug. Wie groß ist die Reichweite eines Elektrofahrzeugs? Wie kann diese bei Bedarf gesteigert werden? Sind diese Antriebe wirklich effizient?

Um diese Fragen beantworten zu können, muss der aktuelle Stand der Technik näher beleuchtet werden, so dass die teilweise geringen Unterschiede, gerade bei Hybridsystemen, nachvollzogen werden können und um die individuellen Vorteile greifbarer zu machen.

Letztendlich wird klar, dass sich der Antrieb verändern wird und trotz, oder gerade wegen der zunehmenden Elektrifizierung und Hybridisierung, wird dennoch der Verbrennungsmotor die dominante Antriebsquelle über einen längeren Zeitraum bleiben.

Abstract

The automobile actuation is closely connected to the global economic achievement. Never before, individuals or goods were able to cover large distances in such short time. Because of the actual economic and ecological situation, the automotive manufacturers have to design actuations with minimal emission and maximum effectiveness. They also have to be able to cover long distances.

The automotive market is characterized by a big diversity and a high complexity, because of the increasing regional requirements (legal aspects, emission requirement, etc.) and also the conflict of interest between the manufacturers.

The future consumer also has requirements to a vehicle. What distances are achievable with an electric vehicle? And how is it possible to increase the reachable distance? Are these actuations really efficient?

To answer these questions, it is necessary to examine the state of the art of automobile actuation. So that it is possible to understand, for example, the partially small differences between the several hybrid engines and their individual advantages.

It is finally certain, that the automobile actuation will adept a change. With increasing electrification and hybridization the combustion-engine will stay the dominant drive in automotives over a longer period.

Inhaltsübersicht

Geleitwort des Herausgebers	V
Vorwort der Autoren.....	VII
Kurzreferat	IX
Abstract.....	XI
Inhaltsübersicht.....	XIII
Inhaltsverzeichnis	XIV
Abbildungsverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
2 Recherche / Stand der Technik	3
2.1 Konventionelle Antriebe	3
3 Auswertung der Recherche	48
3.1 OEM, Kunden & technische Realisierbarkeit.....	48
3.2 Prognose der einzelnen Antriebe	51
4 Zusammenfassung	54
Literaturverzeichnis	55

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort des Herausgebers	V
Vorwort der Autoren	VII
Kurzreferat	IX
Abstract	XI
Inhaltsübersicht	XIII
Inhaltsverzeichnis	XIV
Abbildungsverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Konventionelle Antriebe	3
2.1.1 Der Dieselmotor	4
2.1.1.1 Gemischaufbereitung	4
2.1.1.2 Kühlung / Heizung	9
2.1.1.3 Abgasnachbehandlung	9
2.1.1.4 Mechanische Motorsteuerung / Ventilsteuerung	11
2.1.1.5 Motorschmierung	12
2.1.2 Ottomotor	13
2.1.2.1 Gemischaufbereitung	13
2.1.2.2 Kühlung / Heizung	17
2.1.2.3 Abgasnachbehandlung	18
2.1.2.4 Mechanische Motorsteuerung / Ventilsteuerung	19
2.1.2.5 Motorschmierung	20
2.1.3 Elektrofahrzeuge	21
2.1.3.1 Batterie/Akkumulator	21
2.1.3.2 Tankstationen	24
2.1.3.3 Energieherstellung	25
2.1.3.4 Elektromotor mit Speisung aus Akkumulatoren	25
2.1.4 Hybride	26
Betriebsarten	26
Klassifizierung	27
Hybrid-Bauarten	30
3 Auswertung der Recherche	48
3.1 OEM, Kunden & technische Realisierbarkeit	48

3.1.1	Konsumenten.....	48
3.1.1.1	Ist-Stand 2009.....	49
3.1.1.2	Konsumenten-Interessen	49
3.1.2	Automobilhersteller OEM.....	50
3.1.2.1	Kapital, Kapazität	50
3.1.2.2	Werbung	51
3.2	Prognose der einzelnen Antriebe	51
3.2.1	Der konventionelle Antrieb.....	51
3.2.2	Erdgas	52
3.2.3	Hybride	52
3.2.4	Brennstoffzelle:.....	53
3.2.5	Elektrofahrzeuge.....	53
4	Zusammenfassung	54
	Literaturverzeichnis	55

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Verhältnis zwischen Lambda und Abgas
- Abbildung 2: Bewertungsmatrix Eigenschaften von Akkumulatoren
- Abbildung 3: Fahrzeug mit E-Antrieb
- Abbildung 4: Einteilung Hybridsysteme nach Motorleistung
- Abbildung 5: Mögliche Funktionen in Abhängigkeit des Hybridsystems
- Abbildung 6: Parallel Hybrid
- Abbildung 7: Konventionelles Fahren
- Abbildung 8: Elektrisches Fahren
- Abbildung 9: Boosten
- Abbildung 10: Rekuperieren
- Abbildung 11: Lastpunktanhebung
- Abbildung 12: Serieller Hybridantrieb mit Verbrennungsmotor
- Abbildung 13: Elektrisch Fahren
- Abbildung 14: Boosten
- Abbildung 15: Rekuperieren
- Abbildung 16: Lastpunktanhebung
- Abbildung 17: Solarfahrzeug
- Abbildung 18: Powersplit-Hybrid
- Abbildung 19: Konventionelles fahren
- Abbildung 20: Elektrisch fahren
- Abbildung 21: Boosten
- Abbildung 22: Rekuperieren
- Abbildung 23: Lastpunktanhebung
- Abbildung 24: Two-Mode-Hybrid
- Abbildung 25: Through the Road-Hybrid
- Abbildung 26: Konventionelles fahren
- Abbildung 27: Elektrisch fahren
- Abbildung 28: Boosten
- Abbildung 29: Rekuperieren
- Abbildung 30: Lastpunktanhebung

Abbildung 31: Marktanteile von Automobilantrieben in Deutschland

Abkürzungsverzeichnis

Kurzform	Beschreibung
Abb	Abbildung
DAT	Deutsche Automobil Treuhand
EVT	Electric Continuously Variable Transmission
Necar	New Electric Car
OEM	Original Equipment Manufacturer
PEM-FC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
ZEV	Zero emissions vehicle

1 Einleitung

Kaum ein Produkt hat den Alltag der Menschheit mehr verändert als das Automobil. Die Automobilindustrie ist nicht nur in Deutschland ein riesiger Markt. Noch im 19. Jahrhundert haben viele der heutigen Automotive-Unternehmen Eisenwaren oder Stahl produziert. Mitte des Jahrhunderts begannen sie die Fertigung von Waffen oder Fahrrädern und haben sich so Technologien und Wissen erarbeitet, durch die sie, Jahrzehnte später, in der Lage waren Fahrzeuge zu bauen. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat es mehr als 2.500 Unternehmen gegeben, die Automobile produziert haben. In Deutschland waren zum 1. Januar 2009 49.602.623 Fahrzeuge angemeldet, weltweit sind derzeit ca. 500.000.000 Fahrzeuge im Einsatz.

Der Physiker Werner Zittel hat im Ölreport der "Energy Watch Group" [11] ausgerechnet, dass die maximal mögliche Fördermenge bereits im Jahr 2006 erreicht wurde. Er prognostiziert, dass bis zum Jahr 2030 nur noch halb so viel Öl gefördert werden kann wie zum heutigen Zeitpunkt. Die Reserven schwinden mit dramatischer Geschwindigkeit. Denn schon seit mehr als zwanzig Jahren wird auf der Erde jedes Jahr mehr Erdöl verbraucht, als neues gefunden.

Diese Erkenntnis ist an der Wirtschaft nicht vorbei gegangen und so steigen die Preise für fossile Brennstoffe kontinuierlich an. Desweiteren machen es Klimaschutz und vor allem gesetzliche Bestimmungen zur Verringerung von Emissionen, dem nun langsam in die Jahre gekommenen Verbrennungsmotor sehr schwer. Während in Europa die Euro 6 vor der Tür steht, werden in Kalifornien erneut die Forderungen nach sogenannten <zero-emission> Fahrzeugen laut.

Während die Euro 6 mit etlichen Zusatzsystemen wie der variablen Nockenwellensteuerung, Harnstoff-Einspritzung, strahlgeführten Verbrennung, Abgasrückführung und Mehrfach- Aufladung erreichbar ist, ist die <zero-emission> wohl nicht erreichbar.

Aufgrund dieser Situation ist die Automobilindustrie gezwungen, den Antrieb des Automobils komplett neu zu überdenken.

Aus mehreren Gründen haben Automobilhersteller im Laufe der letzten Jahrzehnte die Entwicklungskompetenz einzelner Subsysteme und Baugruppen auf Zulieferer übertragen. So haben sich die Automobilhersteller zunehmend dahingehend optimiert, einen Großteil ihrer Baugruppen preisgünstig zuzukaufen, behalten dabei aber die Übersicht über das Gesamtsystem. Der Zulieferer sieht dabei lediglich das Las-

tenheft bzw. das Subsystem, an dem er arbeitet. Wegen der benötigten Zeitspanne von der Dauer der Entwicklung bis zur Serienphase sowie der Tatsache, dass Technologien inzwischen kurzlebig sind und auch hohe Einstiegskosten (Transitionskosten) verursachen, ist es für den Zulieferer sehr schwer geworden die Technologie-Trends oder potentiellen Cash-Cows rechtzeitig zu identifizieren. Es besteht eher die Gefahr in einer technologischen Sackgasse zu landen oder durch Substitution ausgehebelt zu werden.

Die derzeitigen Bemühungen der Automobilhersteller den Verbrennungsmotor zu substituieren, haben exakt solche Auswirkungen auf die Industrie der Automobil-Zulieferer. Hier gibt es aufgrund der neuen Technologien und der dadurch bestehenden Substitutionsgefahr der zur Verfügung stehenden Technik Risiken aber auch Chancen.

2 Stand der Technik

Im Folgenden wird das derzeitige Produktportfolio der Automobilindustrie untersucht. Dabei wird der heutige Ist-Zustand der konventionellen Antriebstechnik, die sich in den letzten 100 Jahren etabliert hat, betrachtet. Desweiteren werden die potentiell nachfolgenden Technologien dargestellt.

2.1 Konventionelle Antriebe

Der Antrieb der letzten einhundert Jahre ist ganz klar die Verbrennungskraftmaschine.

In einem Verbrennungsmotor wird chemische Energie (Kraftstoff-Luft-Gemisch) durch Verbrennung in thermische Energie (Wärme) umgesetzt. Die freigesetzte Wärmeenergie wird teilweise in mechanische Arbeit umgewandelt.

Man unterscheidet hier zwei wesentliche Arten:

- Strömungsmaschinen
 - Gasturbine
 - Strahltriebwerk
- Verbrennungsmotoren
 - Hubkolbenmotor
 - Kreiskolbenmotor

Jede dieser Varianten ist dabei als Antrieb denkbar, wobei sich der Verbrennungsmotor, und dabei hauptsächlich die Variante Hubkolbenmotor, als der Antrieb für das Automobil des 20. Jahrhunderts durchgesetzt hat.

Der Hubkolbenmotor wird dabei wiederum in zwei Hauptkategorien unterschieden:

- Ottomotor
- Dieselmotor

Vollständigkeitshalber sei hier auch der Diesotto-Motor mit homogener Kompressionszündung von Mercedes-Benz genannt. Er kombiniert Vorteile beider Bauarten.

In den folgenden Kapiteln wird hauptsächlich auf die Systeme dieser Antriebe eingegangen.

2.1.1 Der Dieselmotor

Am 28. Februar 1892 hat Rudolf Diesel eine Verbrennungskraftmaschine, die später seinen Namen erhält, patentieren lassen (Patent Nr. 67207). Während beim Ottomotor Zündkerzen notwendig sind, um das Gemisch aus Luft und Kraftstoff zu entzünden, wird beim Dieselmotor die Luft schnell sehr stark komprimiert, wodurch sie sich auf ca. 700 °C bis 900 °C erwärmt. Bevor der Kolben sich im oberen Totpunkt befindet, wird eingespritzt, so dass der Dieselkraftstoff siedet und sich aufgrund der hohen Temperaturen entzündet. Bis in die Mitte der 1990er Jahre galten Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren als sparsam und sehr zuverlässig. Allerdings waren diese Motoren bezüglich der Fahrleistungen selbst bei identischer Leistung einem Ottomotor unterlegen. Im Vergleich zum Ottomotor galt der Diesel als träge. Dies änderte sich mit der zunehmenden Verbreitung der Turboaufladung und durch die Einführung der direkten Kraftstoffeinspritzung, so dass der Diesel zunehmend dynamischer und drehzahlfreudiger wurde, büßte dafür die hervorragende Langlebigkeit ein.

2.1.1.1 Gemischaufbereitung

Dieselmotoren arbeiten prinzipbedingt mit einem Luftüberschuss, so dass hier das stöchiometrische Kraftstoffverhältnis (Siehe Kapitel 2.1.2.1), wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Bedeutung hat.

Das Kraftstoffsystem des Dieselmotors

Die Gemischbildung selbst erfolgt im Brennraum und man unterscheidet dabei zwei Systeme:

- Direkteinspritzung in den Brennraum
- Einspritzung in eine Vor- oder Wirbelkammer

Bei Dieselmotoren erfolgt die Einspritzung bei hohem Druck, so dass eine aufwendige Technologie notwendig ist, um diese Drücke zu realisieren und zeitdiskret am Zylinder zur Verfügung zu stellen. Es gibt dabei vier Systeme, die den Großteil des Marktes abdecken:

- Reiheneinspritzpumpe
- Verteilereinspritzpumpe
- Pumpe-Düse
- Common-Rail

Reiheneinspritzpumpe

Diese Pumpe wird meistens neben dem Motorblock angebracht, hier verfügt jeder Zylinder bzw. jede Düse über ein eigenes Pumpenelement, welches über eine Leitung mit der Einspritzdüse verbunden ist. Diese Pumpenelemente sind in einem Pumpengehäuse in Reihe angeordnet und werden über eine separate Nockenwelle angetrieben. Über die Pumpenkolben-Geometrie wird die einzuspritzende Menge eingestellt. In der Düse ist die Düsennadel mittels einer Feder so vorgespannt, dass ab einem bestimmten Druck die Federkraft überwunden wird und in den Zylinder eingespritzt wird. Dieses System wird häufig bei großvolumigen Motoren (also hauptsächlich im Nutzfahrzeugbereich) eingesetzt, da hier eine große Menge an Kraftstoff eingespritzt werden kann. Diese Art Pumpen sind allerdings sehr kostenintensiv, so dass sie zunächst durch Pumpe-Düse und nun durch Common-Rail substituiert werden.

Verteilereinspritzpumpen

Bei diesen Motoren verfügt die Pumpe über lediglich ein Pumpenelement für alle Zylinder. Durch einen rotierenden Verteiler werden die jeweiligen Zylinder mit Kraftstoff versorgt. Auch hier werden die Einspritzdüsen über den Kraftstoffdruck geöffnet. Die Verteilerpumpe gilt auch heute noch als kostengünstige Alternative bei kleinen bis mittleren Motoren. Da nur ein Pumpenelement zur Verfügung steht und bei hohen Drehzahlen die Zeit zwischen den einzelnen Förderzyklen sehr gering wird, kann diese Pumpe für maximal 6 Zylinder [4] zum Einsatz kommen.

Pumpe-Düse

Beim Pumpe-Düse-Element sind Hochdruckpumpe und Düse in einem Bauteil vereint und direkt im Zylinderkopf verbaut. Es wird direkt von der Nockenwelle angesteuert, was dazu führt, dass die Einspritzanlage viel stärker in die Motor konstruktion einbezogen werden muss und der Motor zusätzlich Platz in der Höhe benötigt. Da dieses System keine Einspritzleitung benötigt, können Einspritzdrücke von über 2000 bar realisiert werden. Dieses System wurde sehr lange Zeit von VW verfolgt, ist derzeit aber eingestellt.

Common-Rail

Die Common-Rail-Einspritzung hat sich inzwischen nicht nur im Diesel durchgesetzt, sondern findet auch im Ottomotor zunehmend Marktanteile. Besonderer Vorteil ist, dass die Druckerzeugung und der Einspritzvorgang voneinander unabhängig sind. Der Kraftstoffdruck wird von einer Hochdruckpumpe erzeugt und in einem Reservoir, der Rail, gespeichert. Die Injektoren können nun jederzeit Kraftstoff in den Brennraum zeit- und mengengerecht einspritzen. Diese Injektoren waren in der ersten Generation reine Elektromagnete, mit denen Spitzendrücke von ca. 1300 bar erreicht wurden. Die nachfolgenden Generationen wurden mit Piezo-Aktuatoren ausgestattet, die es ermöglichen in mehreren Intervallen (bis zu 5 Mal) während nur eines Arbeitshubes einzuspritzen und zusätzlich 2500 bar Spitzendruck zu realisieren. Piezo-Aktuatoren sind allerdings in der Herstellung sehr teuer, so dass in kleineren Fahrzeugen nach wie vor Elektromagnete eingesetzt werden.

Das Lade-Luftsystem des Dieselmotors

Wie bereits erwähnt, wird bei Dieselmotoren mit einem Luftüberschuss gearbeitet. Daher sind die modernen Dieselmotoren fast immer aufgeladen. Beim Aufladen wird die Dichte der Ansaugluft erhöht und somit die Luftmenge und der Füllungsgrad des Zylinders verbessert. Dadurch wird mehr Kraftstoff eingespritzt und kann mit minimaler Rußbildung verbrannt werden.

Hier unterscheidet man zwischen Selbstaufladung und Fremdaufladung, wobei Fremdaufladung jegliche Art der Aufladung bezeichnet, die mit einem Zusatzaggregat realisiert wird. Die gängigen Arten, einen Motor aufzuladen, sind:

- Abgasturboaufladung
- Spirallader (auch als G-Lader bekannt)
- Schwingrohraufladung
- kombinierte Aufladung oder Resonanzaufladung
- mechanische Aufladung (Kompressor)
- Druckwellenaufladung oder Comprexaufladung
- Pulseconverter

Die Möglichkeiten, einen Motor aufzuladen, sind sehr vielfältig. So können auch einige dieser Varianten kombiniert auftreten, wie zum Beispiel Bi-/Twinturbo, Registeraufladung, mehrstufige Aufladung oder Turbo-Compound, bei denen entweder Nachteile kompensiert oder einfach noch höhere Füllungsgrade realisiert werden. Da

der Abgasturbolader (ATL) die die häufigste Anwendung ist, wird im Folgenden lediglich auf diese Art Aufladung eingegangen.

Der Abgasturbolader

Beim ATL handelt es sich um die am häufigsten verbreitete Variante der Aufladung. Hier sind Turbinenrad und Verdichterrad über eine Welle verbunden. Das ausströmende Abgas treibt dabei die Turbine an und somit auch das Verdichterrad, im Verdichtergehäuse wird die Ansaugluft verdichtet und in die Zylinder gepresst. Die notwendige Antriebsenergie ist hoch, denn das Auslassventil wird geöffnet, bevor die Verbrennung im Zylinder vollkommen abgeschlossen ist. Während dieses Zeitpunktes kann der Restdruck immer noch 5 bar betragen. (Dieser Restdruck wird genutzt, um möglichst viel verbrannte Abgase aus dem Zylinder zu fördern.) Das Turbinengehäuse liegt möglichst nah am Auslass der Zylinder und direkt im Abgasstrom, um die maximale Antriebsleistung der ausströmenden Abgase zu nutzen und um ein optimales Ansprechverhalten zu erhalten. Der entscheidende Vorteil des Turboladers liegt darin, dass er die sonst ungenutzte Restenergie der Abgase verwendet um den Füllungsgrad und damit den Gesamtwirkungsgrad zu verbessern.

Somit wird eine Steigerung des maximalen Drehmoments und der maximalen Leistung erreicht. Diese Effizienzsteigerung ermöglicht entweder höhere Leistung bei fast gleichen Abmessungen, oder der Motor kann wesentlich kleiner ausgeführt werden (Downsizing) und dennoch vergleichbare Leistung bei weniger Größe und Gewicht realisieren.

Da der ATL so nah am Zylinder sitzt und die Abgase noch über sehr hohe Temperaturen verfügen (ca. 1000 °C) wird dieser ebenfalls sehr warm. Dadurch und durch den Verdichtungs Vorgang wird die Ansaugluft stark erwärmt, wodurch sich auch die Dichte negativ ändert. Daher wird die Luft durch einen Ladeluftkühler wieder abgekühlt. Als Beispiel erreichen Motoren ohne Ladeluftkühlung Drücke im Ansaugkanal von 0,2 bis 1,8 bar, während Motoren mit Ladeluftkühlung Werte von 0,5 bis 2,2 bar erreichen.

Da auch bei mittleren Drehzahlen mit niedriger Abgasströmung eine Aufladung stattfinden soll, wird häufig die Baugröße des Turboladers verringert. Denn die Drehzahl des ATL hängt von der Abgasmenge des Motors ab. Mit steigender Motordrehzahl, erhöht sich auch die Drehzahl des ATL weiter und dieser wird somit mehr Luft in den Ansaugkanal fördern. Hightech ATLs können Drehzahlen bis zu 290.000/min [27]

erreichen. Dies hat aber zur Folge, dass bei solch hohen Drehzahlen der Ladedruck unzulässig hoch wird, was letztendlich zu einer Schädigung des Motors führt. Dies wird mit Hilfe der Ladedruckbegrenzung verhindert. Die Ladedruckbegrenzung kann auf mehrere Arten realisiert werden. Die einfachste Variante ist, die überschüssige, komprimierte Ladeluft mit Hilfe eines Überdruckventils einfach auf der Verdichterseite abzublasen. Dies ist allerdings keine wirtschaftliche Lösung, denn es wird Energie ungenutzt entlassen. Außerdem sinkt der Gegendruck auf der Verdichterseite ab, was dazu führt, dass der ATL noch höhere Drehzahlen erreicht. Diese Lösung dient heute lediglich als zusätzliche Sicherheit um den Motor vor Überlastung zu schützen, falls die eigentliche Regelung versagt.

Wastegate

Eine effizientere Lösung bietet dabei das sogenannte Wastegate. Dabei kommt im Abgasstrom ein Ventil zum Einsatz, welches es dem Abgas ermöglicht über einen Bypass in den Auspuff zu gelangen. Dadurch wird die Drehzahl des ATL begrenzt. Da sich dieses Bypassventil direkt im Abgasstrom und sehr nahe am Zylinderauslass befindet, wird es aufgrund der heißen Abgase thermisch sehr hoch belastet.

Funktionsbedingt verfügen ATL allerdings über Nachteile, so entwickeln sie erst ab mittlerer Drehzahl volle Ladewirkung und aufgrund der Trägheit der Gassäule tritt diese dann auch verzögert auf (Turboloch).

Aus diesem Grund werden manche PKWs mit 2 Turboladern ausgestattet, wobei einer auf die niedrigen und einer auf die hohen Drehzahlen abgestimmt ist, so dass sie sich entsprechend ergänzen. Der Einsatz von mehreren Ladern hat natürlich auch zusätzlichen Regelbedarf, so dass auch hier zusätzliche Schaltventile notwendig werden.

VTG-Lader

Eine andere Alternative bietet dabei der VTG-Lader, VTG steht für Variable Turbinen Geometrie. Im diesem Lader befinden sich verstellbare Leitschaufeln, die starr vor der Turbine angeordnet sind. Durch den Anstellwinkel der Leitschaufeln ist der Strömungsquerschnitt und somit die Strömungsgeschwindigkeit variierbar. Also wird durch Verengen des Querschnitts die Strömungsgeschwindigkeit erhöht und die Turbine schneller gedreht. So kann dann auch bei niedriger Drehzahl ein hoher Ladedruck realisiert werden. Bei hohen Motordrehzahlen, also wenn die Abgasmenge

sowieso schon sehr hoch ist, wird einfach der Querschnitt vergrößert um den Motor vor Überlastung zu schützen.

Der erste PKW-Serienmotor mit VTG-Lader war der direkt einspritzende TDI von VW/Audi. 1996 erreichte dieser Motor auch durch den Einsatz des VTG als erster PKW-Antrieb einen Motor-Wirkungsgrad von über 40 %.

2.1.1.2 Kühlung / Heizung

Im Arbeitstakt des Dieselmotors entsteht, wie beim Ottomotor, sehr viel Wärme. Diese Temperaturen können im Brennraum bis zu 2000°C betragen, so dass die meisten Werkstoffe hier nicht zum Einsatz kommen können, da im Normalfall der Schmelzpunkt bereits weit überschritten wäre. Ferner müssen die Motorbauteile bei diesen Temperaturen noch in der Lage sein hohe mechanische Beanspruchungen zu ertragen. Um nun die Motorteile vor thermischer Schädigung zu schützen, wird die Wärme abgeführt und man versucht die Temperatur im Motor möglichst konstant zu halten.

Der Dieselmotor verfügt im Vergleich zum Ottomotor über einen besseren thermischen Wirkungsgrad. Daher wird auf die Varianten der Kühlsysteme beim Ottomotor näher eingegangen.

Aufgrund des besseren thermischen Wirkungsgrades entsteht für den Dieselmotor ein spezielles Problem. Die Innenraumheizung eines PKW wurde bisher lediglich durch die abgeführte Wärme des Verbrennungsmotors realisiert. Bei hoch effizienten Dieselmotoren ist diese Wärme nach dem Kaltstart so gering, dass der Innenraum des Fahrzeuges über einen sehr langen Zeitraum nicht beheizt werden kann. Daher werden in Oberklassefahrzeugen vermehrt Zusatzheizgeräte angeboten, die zudem die Motortemperatur bereits vor dem Start auf Betriebstemperatur bringen, was sich wiederum positiv auf das Abgasverhalten und den mechanischen Verschleiß auswirkt.

2.1.1.3 Abgasnachbehandlung

Beim Dieselmotor spielen Rußpartikel, Stickoxide und unverbrannte Kohlenwasserstoffe eine wesentliche Rolle bei der Abgasqualität.

Ruß entsteht bei unvollständiger Verbrennung, also wenn der Motor nicht genügend Luft zur Verfügung hat. Derzeit wird Ruß durch sogenannte Rußpartikelfilter reduziert. Rußpartikel sind im Durchschnitt ca. 50–100 nm groß.

Der Wandstromfilter

Eine Filtermethode ist dabei der Wandstromfilter, bei dem die Abgase eine poröse Wand durchdringen, dabei werden die Partikel vom Rest der Abgase getrennt. Die Öffnungen in dieser Wand müssen nicht kleiner als die Partikel sein, denn die Partikel bleiben auf Grund von Adhäsion an der Filteroberfläche haften. Durch die Ablagerungen an der Oberfläche und die zunehmende Verschließung der Öffnungen, entsteht ein Differenzdruck. Sobald dieser Druck eine gewisse Größe erreicht hat, wird die Regenerationsphase, oder auch Freibrennen genannt, eingeleitet. Wie der Begriff Freibrennen vermuten lässt, handelt es sich dabei um eine Verbrennung der Rußpartikel. Da Ruß hauptsächlich aus Kohlenstoff besteht, muss dieser nur noch auf die notwendige Temperatur von größer 500 °C gebracht werden, so dass er selbständig abbrennen kann.

Bei Dieselmotoren hängt die Abgastemperatur stark vom Betriebszustand ab. Während bei geringer Last und Drehzahl die Temperatur gerade mal 200 °C betragen kann, so erreicht sie bei Volllast bis zu 800 °C. Generell liegt die Abgastemperatur aber unter dem für das Regenerieren notwendigen Niveau von 500 °C.

Einleiten der Regenerationsphase

Da nicht alle Fahrzeuge regelmäßige Autobahnfahrten absolvieren und daher der Filter verstopfen könnte, gibt es diverse miteinander kombinierbare Möglichkeiten die Regenerationsphase dennoch einzuleiten.

- Nacheinspritzung: Bei der Nacheinspritzung wird während der Verbrennung zu einem sehr späten Zeitpunkt nochmals eingespritzt, dies erzeugt zusätzliche Wärme und heizt somit das Abgas auf. Allerdings hat diese Methode einen schlechten (mechanischen) Wirkungsgrad zur Folge und bringt eine zusätzliche Verdünnung des Motoröls mit sich.
- Additive: Mittels einer Dosierpumpe wird der zur regenerativen Verbrennung notwendige Kraftstoff in den Abgasstrang eingespritzt. Hierbei handelt es sich um einen Kraftstoff (Additiv), der dem Diesel nicht entspricht. D.h. das Additiv wird in einem separaten Tank im Fahrzeug mitgeführt und muss in großen Abständen (ca. 100.000 km) nachgefüllt werden.
- Oxidationskatalysator: Aufgrund des katalytischen Effektes kann die Abgastemperatur angehoben werden. Dafür sind allerdings eine hohe Konzentration von unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC), Kohlenmonoxid (CO) sowie ein

hinreichender Restsauerstoffgehalt notwendig. Die HC-Konzentration lässt sich sowohl durch Nacheinspritzung als auch durch die zusätzliche Kraftstoffeinspritzung in den Abgasstrang mittels eines Dosierventils realisieren.

- Heizspirale: Die Abgastemperatur kann auch mittels einer Heizspirale erhöht werden. Da aber das Bordnetz derzeit auf lediglich 12 V ausgelegt ist, ist es nur begrenzt möglich die notwendige Heizleistung aufzubringen.

Letztendlich wird aber während der Regeneration Ruß lediglich in CO₂ umgewandelt.

Bei hohen Verbrennungstemperaturen entstehen im Motor zunehmend umweltschädliche Stickoxide. Um diese zu reduzieren, muss die Verbrennungstemperatur gesenkt werden. Eine wirkungsvolle Maßnahme hierzu ist die Abgasrückführung, die sowohl in Ottomotoren als auch in Dieselmotoren zum Einsatz kommt. Bei Dieselmotoren hat sie den Zusatzeffekt der Geräuschreduzierung.

Dabei wird ein Teil des Abgases der angesaugten Frischluft zugemischt. Dies wird über das Abgasrückführ-Ventil (AGR-Ventil) realisiert. Durch das Mischen von Frischluft und Abgas verringert sich der Sauerstoffgehalt, so dass sich nicht die hohen Verbrennungstemperaturen ergeben, die für eine Stickstoffoxidbildung erforderlich sind. Da die Abgase direkt nach der Verbrennung über eine relativ hohe Temperatur verfügen, kann die Reduktion durch eine zusätzliche Abkühlung der Abgase vor dem Einleiten in die Frischluft verbessert werden.

2.1.1.4 Mechanische Motorsteuerung / Ventilsteuerung

Im Gegensatz zum Ottomotor spielt das Verhältnis zwischen der zur Verfügung stehenden Luft und dem eingespritzten Kraftstoff beim Dieselmotor eine untergeordnete Rolle und mittels Turbolader etc. wird eher ein permanenter Luftüberschuss gewährleistet. Zudem wird der Kraftstoff über Injektoren direkt in den Brennraum eingespritzt. Also wird eine variable Nockenwelle oder eine Veränderung der Steuerzeiten nicht denselben Effekt erzielen wie beim Ottomotor.

Dennoch kann mittels Veränderung der Steuerzeiten, in Richtung einer längeren Überschneidung, in manchen Drehzahlbereichen eine bessere Füllung erzielt werden.

Ein besonderer Vorteil kann durch eine Zylinderabschaltung erreicht werden, mit dieser Maßnahme kann in manchen Fahrsituationen der Verbrauch um 15% verringert werden.

Die vier Arbeitstakte heißen beim Diesel genau gleich wie beim Ottomotor. Sie unterscheiden sich aber bei zwei Arbeitstakten bezüglich des Druckniveaus: Beim Verdichten und im Arbeitstakt. Das Druckniveau des Dieselmotors ist viel größer (Teilweise um das Dreifache) und steht zudem über einen längeren Zeitraum zur Verfügung.

Die Nockenwellenverstellung hat beim Ottomotor einen viel größeren Einfluss und wird dort zum derzeitigen Stand der Technik viel häufiger eingesetzt. Daher wird die Nockenwellenverstellung beim Ottomotor näher behandelt. (Siehe Kapitel 2.1.2.4)

2.1.1.5 Motorschmierung

Das Motoröl hat eine Vielzahl von Aufgaben:

- Abdichten von Kolbenring und Ventilfehrung
- Kraftübertragung (hydraulisch)
- Korrosionsschutz
- Wärme abführen
- Reinigen
- Verschleißschutz

Bei herkömmlichen Motoren wurde die Ölpumpe noch direkt über die Kurbelwelle angetrieben. Dadurch kann das Öl die eben genannten Aufgaben nur wahrnehmen, wenn sich die Kurbelwelle dreht bzw. der Motor läuft. Ein weiterer Nachteil ist, dass bei hoher Motordrehzahl, unabhängig von der Last, die Ölpumpe auf Hochtouren läuft und somit teilweise unnötig Leistung vom Motor abzweigt.

Bei neueren Systemen wird diese Pumpe elektrisch betrieben oder wenigstens geregelt. Bei elektrischen Pumpen besteht zum Beispiel die Möglichkeit Öl zu fördern, sobald sich die Fahrertür öffnet und somit die Lagerstellen schon mit Öl versorgt werden bevor der Motor befeuert wird. Außerdem kann bei hoher Drehzahl aber niedriger Last die Pumpe bei niedrigerer Drehzahl betrieben werden, so dass die Lagerstellen ausreichend mit Öl versorgt werden aber nicht unnötig Energie verschwendet wird. Damit wird der Gesamtwirkungsgrad des Motors optimiert und die Motorteile werden besser vor Verschleiß geschützt.

Prinzipiell hat das Motoröl im Dieselmotor dieselben Aufgaben wie beim Ottomotor. Allerdings ist das Öl beim Dieselmotor mehr Schmutz ausgesetzt und muss aufgrund des erhöhten Verbrennungs- und Komprimierungsdrucks auch druckfester sein.

2.1.2 Ottomotor

Der nach Nikolaus August Otto benannte Motor ist durch ein einfaches Merkmal vom Diesel zu unterscheiden. Er verfügt über eine Zündkerze, die das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Brennraum entzündet und somit die kontrollierte Verbrennung einleitet. Man spricht hier von der aktiven Zündung oder auch Fremdzündung.

Die Forderungen von Kunden und Gesetzgebern haben die Automobilhersteller veranlasst, den Antrieb ihrer Fahrzeuge weiter zu verbessern. Während der Kunde in der Vergangenheit immer mehr Leistung wollte und heute zudem noch einen geringen Kraftstoffverbrauch, so forderte der Gesetzgeber immer niedrigere Emissionswerte. Diese drei Aspekte sind prinzipiell verschieden und nur schwer zu vereinen. Denn höhere Leistung hat auch mehr Verbrauch und somit auch eine höhere Umweltbelastung zur Folge. Selbst ein niedriger Verbrauch heißt nicht, dass automatisch geringe Emissionswerte erreicht werden. Wenn wenig Kraftstoff eingesetzt wird, ist die Abgastemperatur relativ gering, so dass schädliche Stickoxide (NO_x) sowie unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) nicht umgewandelt werden können.

Erst die technischen Helfer wie Abgasrückführung bewirken, dass diese Forderungen, wenn auch nur in Abhängigkeit von Last und Drehzahl (und somit von der Stellung des Gaspedals), situativ erfüllt werden können.

2.1.2.1 Gemischaufbereitung

Das Kraftstoffsystem des Ottomotors (Benzin)

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Realisierung des Kraftstoff-Luft-Gemischs während des Motorbetriebs. Um das Gemisch herzustellen, wurde in der Vergangenheit mit Vergasern gearbeitet. Hier wurde durch ein Venturirohr der durch den Ansaugtakt entstehende Unterdruck mittels zusätzlicher Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der Luft (Querschnittsänderung) weiter abgesenkt, so dass der Kraftstoff aus dem Tank „angesaugt“ und der Luft beigemischt wurde. Mit Hilfe der Drosselklappe stellt sich die Luftmenge und somit der Unterdruck im Vergaser ein. Der Kraftstoff wird dann lediglich in das Ansaugrohr eingetröpfelt, wo er bestenfalls an einem warmen Saugrohr verdampft und sich dann auf die Zylinder verteilt.

Im Laufe der Jahrzehnte wurde das Vergasersystem zunächst verbessert und dann durch Einspritzsysteme abgelöst.

Bei Einspritzsystemen wird grundsätzlich zwischen Saugrohr- und Direkteinspritzung unterschieden. Heutiger Stand der Technik ist dabei die Direkteinspritzung in den Brennraum.

Die zentrale Kennzahl ist das stöchiometrische Verhältnis, welches auch mit dem griechischen Buchstaben λ (Lambda) gekennzeichnet wird. Lambda beschreibt, wie viel Kilogramm Luft zu einem Kilogramm Kraftstoff benötigt werden, um eine optimale Verbrennung zu realisieren (ohne Sauerstoffüberfluss oder -mangel während der Verbrennung zu haben).

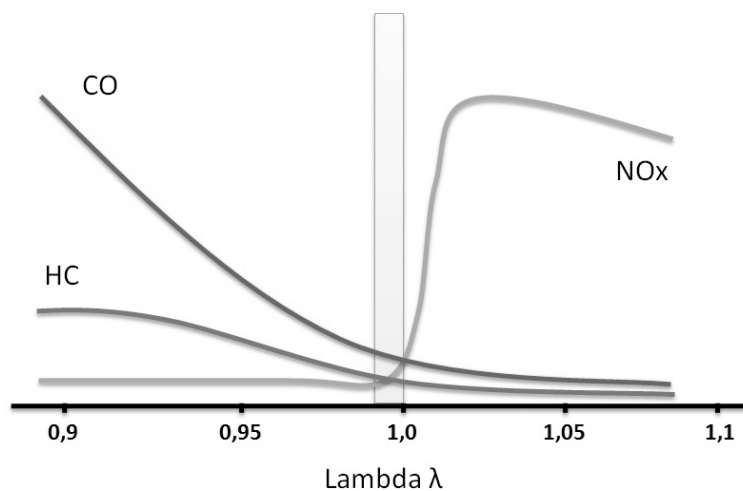


Abbildung 1: Verhältnis zwischen Lambda und Abgas [27]

Dieses Verhältnis entspricht bei mit Benzin betriebenen Ottomotoren 1:14,7 und ist zugleich das Verhältnis, bei dem die Emissionen minimal sind. Also benötigt man, 14,7 Kilogramm Luft um einen Liter Benzin vollständig zu verbrennen. Wenn der Luftanteil abnimmt, spricht man dabei

von einem „fetten-Gemisch“, während man von einem „mageren Gemisch“ spricht, wenn der Luftanteil größer als 14,7 wird.

Allerdings ist das Kraftstoffgemisch aus Benzin und Sauerstoff nur innerhalb der so genannten Zündgrenze, 1:10 bis 1:18, zündfähig, so dass diese Verhältnisse theoretisch die maximalen Grenzen für fette oder magere Gemische darstellen.

Da das Lambda-Verhältnis bei unterschiedlichen Bedingungen unterschiedliche Auswirkungen hat, variiert man in Abhängigkeit von Last, Drehzahl oder auch Temperatur dieses Verhältnis und kann aufgrund der Randbedingungen auch außerhalb der Zündgrenze liegen.

- Kaltstartphase: Gemisch auf bis zu 1:3 angefettet. An den kalten Ansaugrohren und Zylinderwänden entstehen Kondensationsverluste (auch Wandverluste genannt). Um diese auszugleichen und den Motor am Laufen zu halten, ist ein Kraftstoffüberschuss notwendig. Folge ist eine hohe Konzentration an unverbrannten Kohlenwasserstoffen im Abgas.

- Teillast: mageres Gemisch (10 - 30 % Luftüberschuss). Ziel ist hier ein Kraftstoff sparender Fahrmodus.
- Vollast: fettes Gemisch (ca. 10 %), um maximale Drücke im Brennraum und somit maximales Drehmoment an der Kurbelwelle zu erreichen, wird hier die Kraftstoffmenge erhöht.
- Teillastbereich: Nur wenn das Gemisch mit dem stöchiometrischen Verhältnis 1:14,7 bzw. $\lambda = 1$ aufbereitet wird, sind die Schadstoffe im Abgas minimal (siehe Abbildung 1). Sobald das Gemisch über mehr Kraftstoff verfügt („fett“), nimmt der Anteil an Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen zu. Bei Kraftstoffmangel („mager“) steigen die Stickoxide (NO_x) an.

Das Kraftstoffsystem des Ottomotors (Gas)

Ottomotoren und Dieselmotoren können auch mit anderen Ersatzkraftstoffen betrieben werden. Im Fall des Ottomotors wird dies von manchen Automobilherstellern sogar serienmäßig angeboten. Als Beispiel ist der Fiat Multipla zu nennen, der sowohl mit Benzin als auch mit Gas betrieben werden kann. Um ein Fahrzeug mit Gas zu betreiben, sind dennoch technische Maßnahmen zu treffen.

Der Treibstoff: GAS

Als Treibstoff würde sich theoretisch jedes brennbare Gas eignen. So wurde als Beispiel von BMW der Hydrogen 7 Prototyp gebaut, der Wasserstoff als Kraftstoff nutzte. Die derzeit meistverwendeten Gase sind LPG und CNG.

Bei LPG handelt es sich um Flüssiggas, auch Autogas genannt, welches auch für Heizzwecke in Gasgrills oder Campingkochern eingesetzt und in Feuerzeugen verwendet wird. Vorteil von LPG-Systemen ist, dass sie leicht sind und die Tanks wenig Platz brauchen. Aufgrund seiner Eigenschaften ist LPG problemlos als Motortreibstoff einsetzbar. Für die Automobilhersteller scheint LPG als Kraftstoff nicht relevant zu sein, so gibt es lediglich separat erhältliche Nachrüstsätze.

Bei CNG handelt es sich um natürliches Erdgas. Fahrzeuge, die Erdgas als Kraftstoff verwenden, werden von manchen Herstellern serienmäßig angeboten. Das Erdgas wird an der Tankstelle verdichtet und in Druckbehältern gelagert. Beim Tankvorgang selbst wird das Erdgas mit 200 bar in den Fahrzeugtank geleitet und auf 0,5 % seines Volumens reduziert. Dabei unterscheidet man Erdgas in 2 Qualitäten: H-Gas und L-Gas. Der Brennwert in H-Gas ist größer 11 kWh/m³, während der von L-Gas ca. 9,5 kWh/m³ entspricht.

Um ein Fahrzeug mit Erdgas zu betreiben, sind für die Kraftstoffaufbereitung andere Maßnahmen zu treffen als bei Benzin-Fahrzeugen.

So muss beim Tanken gewährleistet sein, dass das Erdgas sicher in hochfesten Druckbehältern gespeichert werden kann. Zudem muss ein Rückschlagventil das ungewollte Ausströmen von Erdgas verhindern können.

Der Kraftstoff wird von den Tanks über das Leitungssystem dem Druckregler zugeführt. Dieser reduziert den Druck des komprimierten Erdgases von 200 bar (Speicherdruck) auf den Einblasdruck von ca. 5 bis 6 bar (abhängig vom Fahrzeugtyp).

Über eine Niederdruckleitung gelangt der Kraftstoff dann weiter zu den CNG-Einblasdüsen. Da zwei gasförmige Stoffe (Erdgas und Luft) aufeinander treffen, lässt sich eine hochwertigere Gemischbildung als bei der Verwendung flüssiger Kraftstoffe erzielen. Die Steuerung der CNG-Zufuhr erfolgt über ein separates Gassteuergerät.

Das Luftsystem des Ottomotors

Lange Zeit waren Ottomotoren standardmäßig Saugmotoren. Aufladung oder ähnliches kamen eher bei Sport- und Rennwagen zum Einsatz. Ursache dafür ist das dynamischere Verhalten des Ottomotors im Vergleich zum Diesel. Die Automobilhersteller sind jedoch bestrebt die Motoren kleiner zu bauen und dabei die Leistung konstant zu halten oder zu vergrößern.

Dabei wird versucht den Füllungsgrad zu erhöhen und somit höhere Verbrennungsdrücke und, als letztendliche Folge, mehr Drehmoment und mehr Leistung zu realisieren. Um den Füllungsgrad eines Ottomotors zu erhöhen gibt es mehrere Möglichkeiten wie Turbolader, Schaltsaugrohre, Kompressoren usw.

Da bei Ottomotoren das Kraftstoff-Luft-Verhältnis von großer Bedeutung ist, muss auch beim Einsatz eines Abgasturboladers (ATL) in allen Phasen die Luftmenge gesteuert werden können. Dies hat wiederum zur Folge, dass die Luftmenge, die in den Verbrennungsraum gelangt, regelbar sein muss. Dies geschieht nach wie vor über die Drosselklappe (oder bei BMW über den variablen Ventilhub). Die Drosselklappe hat aber auf die Aufladung negative Effekte, die durch zusätzliche Systeme verhindert werden können.

Umluftventil

Wenn sich das Fahrzeug im Schubetrieb befindet, ist die Drosselklappe geschlossen, dabei stößt die in Bewegung befindliche Luftsäule auf die Drosselklappe. Diese Luftsäule wird reflektiert und stößt so gegen das sich drehende Verdichterrad des Turboladers, wodurch dieses stark abgebremst wird, das Turbinenrad wird aber dennoch angetrieben, so dass die Turboladerwelle zusätzlich unter Torsion steht. Bei hohem Ladedruck würde dies auf Dauer zu einer Zerstörung des ATLS führen. Um dies zu verhindern, kommt ein sogenanntes Schubumluftventil zum Einsatz. Das Schubumluftventil ist dem Wastegate sehr ähnlich, mit dem Unterschied, dass es sich auf der kühleren Seite (der Ansaugseite) des ATLS befindet. So kann das Verdichterrad ungehindert weiter laufen, da die Luft von der Verdichterseite zur Ansaugseite strömen kann. Das Schubumluftventil ist allerdings nur in Ottomotoren sinnvoll, da Dieselmotoren nicht über eine Drosselklappe verfügen.

2.1.2.2 Kühlung / Heizung

Wie bereits beim Dieselmotor erwähnt, erzeugen Verbrennungsmotoren Prinzip bedingt Wärme, die durch das Kühlsystem abgeführt wird. Dabei hat die Temperatur des Motors einen Einfluss auf den Füllungsgrad des Zylinders, welcher unmittelbar die Leistung und somit den Kraftstoffverbrauch beeinflusst. Im Laufe der Jahrzehnte gab es im Automobil zwei grundsätzliche Varianten der Motorkühlung:

- Luftkühlung
- Wasserkühlung

Unter Luftkühlung versteht man nicht den Lüfter, der das Kühlwasser kühlt, sondern Kühlrippen an den einzelnen Zylindern, die dann durch umströmte Luft den Motor kühlen. Dies kann lediglich durch den Fahrtwind realisiert werden oder durch einen zusätzlichen Lüfter. Wie der Motor gekühlt wird, hängt hier sehr stark von den Parametern Fahrgeschwindigkeit und Luftaußentemperatur ab.

1998 ist bei Porsche der letzte luftgekühlte 911er vom Band gelaufen, was zeigt, dass der luftgekühlte Motor an seine technischen Grenzen gestoßen ist und mit dem wassergekühlten nicht mehr mithalten konnte.

Bei dem wassergekühlten Motor wird Kühlwasser durch Kühlkanäle entlang der Zylinderlaufbuchsen geführt. Dabei wird die Wärme des Brennraums auf das Wasser übertragen und dann über Wärmetauscher an die Luft übertragen.

Der wassergekühlte Motor ist zwar auch von der Fahrgeschwindigkeit und Außentemperatur abhängig, kann aber die Wärme schneller vom Motor wegtransportieren. Die Vorteile des wassergekühlten Motors liegen auf der Hand. Durch die inzwischen elektrischen Kühlmittelpumpen und die Aufteilung des Kühlwassers über einzelne Kühlmittelkreise. Kann die Temperatur in Abhängigkeit der Lastzustände relativ schnell auf einen Sollwert geregelt werden.

Die größten Vorteile, die durch die Anpassung der Temperatur an den aktuellen Betriebszustand erzielt werden, sind die Verbrauchsreduzierung im Teillastbereich und die Reduzierung der CO- und HC-Rohemissionen.

Dabei wird versucht die Temperatur in unterschiedlichen Zuständen anzupassen und nach einem Kennfeld zu variieren. Während niedrigere Temperaturen im Volllastbereich aufgrund eines höheren Füllungsgrades die Leistung des Motors steigern, bewirken höhere Temperaturen im Teillastbereich ein günstigeres Leistungsniveau. Letztendlich werden der Verbrauch und die Schadstoffe im Abgas positiv beeinflusst.

2.1.2.3 Abgasnachbehandlung

Aus den beiden vorherigen Abschnitten geht hervor, dass sich Abgase nicht vermeiden lassen. Allerdings entspricht die Abgasqualität und Quantität noch lange nicht den Forderungen der Gesetzgeber.

Um diese Abgase zu reduzieren, muss eine weitere Aufbereitung derselben stattfinden. Der Drei-Wege-Katalysator ist ein profundes Mittel einen Großteil der Emissionen zu verringern. Allerdings ist dieser auf das stöchiometrische Verhältnis bzw. $\lambda = 1$ ausgelegt. Schon eine geringe Abweichung in den mageren Bereich ($\lambda > 1$), hat einen sprunghaften Anstieg von Stickoxiden zur Folge. Dies führt dazu, dass Motoren, die im Magermixbetrieb laufen, einen zusätzlichen NO_x Katalysator benötigen.

Motoren werden beim Kaltstart mit einem fetteren Gemisch betrieben (bis ca. 2 Minuten). In dieser Phase sind weder der Katalysator, noch die Lambda-Sonde betriebsbereit, was in dieser Betriebsphase enorme Abgasemissionen zur Folge hat. Um Neufahrzeuge für den Straßenverkehr zu qualifizieren, werden gerade in diesem Bereich die Abgase gemessen. Infolgedessen benötigt man speziell für diese Phase eine Möglichkeit, die Emissionen zu verringern.

Eine Maßnahme ist das sogenannte Sekundärluftventil. Dabei wird Frischluft in den Abgaskanal eingeblasen, um eine weitere Oxidation des Abgases (HC und CO) zu bewirken und somit Abgase zu reduzieren. Hierdurch wird die NO_x-Emission um ca. 20% reduziert und die CO-Emission um ca. 40%.

2.1.2.4 Mechanische Motorsteuerung / Ventilsteuerung

Die Verbesserungsmaßnahmen am Motor im Bereich Zündung und Zündverlauf sind mit der Entwicklung der Benzindirekteinspritzer sehr weit fortgeschritten, dabei blieb die Steuerung der Motorzeiten viele Jahrzehnte lang unverändert. Erst im letzten Jahrzehnt wurden gerade an der Verstellbarkeit der Nockenwelle erhebliche Verbesserungen vollzogen.

Wie der Dieselmotor arbeitet der Ottomotor in den vier Takten Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Auslassen. Das Druckniveau des Ottomotors ist im Vergleich zum Diesel wesentlich geringer.

Während des ersten und letzten Arbeitstaktes muss der Brennraum belüftet bzw. entlüftet werden. Dies wird mit Hilfe der Nockenwelle realisiert, welche mechanisch an die Kurbelwelle gekoppelt ist und sich dabei mit halber Geschwindigkeit dreht. Die Nockenwellen wandeln die Drehbewegung in eine Längsbewegung um und öffnen somit die Ventile zum Brennraum.

Die mechanische Motorsteuerung oder auch die Ventilsteuerung ist also ein Mechanismus, der die Ventile und damit den Ladungswechsel durch Öffnen und Schließen der Lufteinlass und Abgasaustrittskanäle steuert.

Da aber unterschiedliche Lastzustände unterschiedliche Mengen an benötigter Luft bedeuten, ist es sinnvoll die Luftmenge in Abhängigkeit von Last und Drehzahl variieren zu können.

Einige bekannte Systeme, um den Füllungsgrad mittels Steuerzeiten zu optimieren, sind:

- Phasenverstellung
- Nockenwellenumschaltung
- Variable Hubsteuerung

Die Phasenverstellung, bei der die Nockenwelle in „früh“ oder „spät“ verstellt werden kann, ist inzwischen Standard bei mittleren und großen Motoren und könnte sich in naher Zukunft auch bei Kleinfahrzeugen als Standard etablieren.

Bei der Nockenwellenumschaltung wird häufig durch axiale Verschiebung der Nockenwelle ein anderer Nocken mit anderer Kontur zum Einsatz gebracht. Dadurch ergeben sich ganz neue Möglichkeiten der Ansteuerung:

- Zylinderabschaltung
- Variieren der Steuerzeiten (früh-spät)
- Variieren des Ventilhubes

2.1.2.5 Motorschmierung

Prinzipiell hat das Motoröl im Ottomotor dieselben Aufgaben wie beim Dieselmotor. Das Ölsystem im Dieselmotor ist dabei lediglich größeren Drücken und größerer Verschmutzung ausgesetzt. Dabei wird in Kapitel 2.1.2.4 angesprochene Nockenwellenverstellung von früh und spät durch den Öldruck des Schmiersystems realisiert. Letztendlich ergeben sich für die Motorschmierung, also Ölpumpe etc. ähnliche Aufgaben und auch die gleichen Applikationen wie beim Dieselmotor.

2.1.3 Elektrofahrzeuge

Im Jahr 1900 waren in New York mehr Elektrofahrzeuge unterwegs als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor [29]. Dies änderte sich 1902 als die Zündkerze dem Ottomotor einen entscheidenden Vorteil brachte. Laut den aktuellen Medien, hat es den Anschein, als würde sich diese Tatsache aufgrund der zulässigen Emissionen und der zunehmenden Kraftstoffpreise wieder ändern. Allerdings haben reine Elektrofahrzeuge technologisch noch Hindernisse zu überwinden.

Die Realität ist ernüchternd. So gibt es nicht viele reine Elektrofahrzeuge, die günstig sind und den derzeitigen Ansprüchen des Konsumenten entsprechen. Fahrzeuge wie der Tesla Roadster sind dabei mehr als Trend und Modefahrzeuge zu betrachten [28].

Um tatsächlich eine Vielzahl an Elektrofahrzeugen bauen zu können, müssen noch technologische Hürden überwunden werden. Der Hauptvorteil an Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist die enorme Reichweite und das schnelle Wiederbetanken, das beinahe überall auf der Welt möglich ist. Elektrofahrzeuge haben derzeit Reichweiten deutlich unter 200 km, und das auch bei nur einer beförderten Person ohne großen Komfort (Klimaanlage, Sitzheizung, Radio, Navigation, etc.) und bei Tageslicht.

2.1.3.1 Batterie/Akkumulator

Die Akkumulatoren sind wohl die Schlüsseltechnologie, um Elektrofahrzeuge für den Markt interessant zu machen. Derzeitige Akkumulatoren sind aber sehr schwer und haben auch keine besonders große Kapazität. Dabei setzt sich solch ein Akku aus einer Reihenschaltung vieler einzelner Zellen zusammen. Als Beispiel verfügt die derzeitige 12 V Autobatterie über 6 Zellen mit je 2 Volt.

Die wichtigen Parameter bei Akkumulatoren sind:

- Sicherheit
- Kosten
- Zellspannung
- Tieftemperaturverhalten
- Energiedichte
- Umweltverträglichkeit

- Zyklfestigkeit
- Verfügbarkeit
- Langzeitspeicherfähigkeit

Bleisäure-Batterie

Die 12 Volt Bleisäure-Batterie ist im Kraftfahrzeug seit Jahrzehnten Stand der Technik, nur eine sehr geringe Anzahl an Fahrzeugen wurde mit den sogenannten Gelbatterien ausgestattet, welche sich letztendlich wegen der größeren Kosten nicht durchsetzen konnten. Die Bleisäure-Batterie ist so stark verbreitet, dass sie beinahe überall erhältlich ist. Sie verfügt über 6 in Reihe geschaltete Zellen mit einer Nennspannung von jeweils 2 V. Aufgrund des hohen Gewichts und des hohen Anteils von Blei sowie der ungenügenden Energiedichte ist dieser Batterietyp eher ungeeignet um als Traktionsbatterie für ein Elektrofahrzeug zu dienen. Dieser Batterietyp ist lediglich für Micro-Hybrid-Systeme (siehe Kapitel 2.1.4.2) geeignet, die einen sehr geringen Bedarf an Elektrizität haben.

Lithium-Ionen

Dieser Akku findet aufgrund seiner hohen Leistungsdichte derzeit vor allem in Handys, Notebooks oder Digitalkameras Verwendung. Aufgrund der hohen Zellenspannung von 3,6 Volt und der hohen Leistungs- und Energiedichte, wird dieser Akkumulator bereits im Tesla Roadster verwendet. Allerdings muss für diesen Elektroswagen, der mit über 7000 Notebook-Akkus betrieben wird, ein Preis von 118.000 € bezahlt werden. Weltweit wurden bisher 1200 Fahrzeuge verkauft. [28]

Ein Nachteil des Lithium-Ionen-Akkumulators besteht darin, dass bei Unfällen ein Zellenkurzschluss auftreten kann, wodurch sehr viel Strom fließt, welcher letztendlich zu Fahrzeugbränden führen kann. In Kombination mit Wasser besteht zudem Explosionsgefahr.

Ein weiterer Nachteil ist, dass der Weltvorrat an den benötigten Werkstoffen für Lithium-Ionen-Akkumulatoren maximal für 1 Mio. Fahrzeuge ausreichen würde (also 2% des deutschen Marktes an Kraftfahrzeugen), so dass diese Batterie weiter verbessert werden muss. Derzeit wird an mehreren Forschungsinstituten an diesem Problem gearbeitet. [15]

Nickel-Cadmium-Akkumulator

Die Zellenspannung der Nickel-Cadmium-Batterie beträgt 1,2 Volt und weist dabei eine hohe Energiedichte auf. Allerdings hat das europäische Parlament im Jahr 2006

eine Richtlinie geändert, die Batterien und Akkumulatoren mit mehr als 0,002 Gewichtsprozent Cadmium verbieten soll. Ursache ist die umweltschädliche Wirkung dieses Werkstoffes [15]. Ein Vorteil dieser Batterie ist das gute Tieftemperaturverhalten, aufgrund des Memory-Effektes darf die Batteriespannung nicht unter 0,85 Volt fallen. Wegen der hohen Energiedichte wäre die Nickel-Cadmium-Batterie als Traktionsbatterie einsetzbar und somit auch für Mild- und Voll- Hybridsysteme (siehe Kapitel 2.1.4.2) hervorragend geeignet.

Nickel-Metallhydrid

Derzeitige Hybridfahrzeuge wie der Toyota Prius oder der Honda Civic nutzen für das rein elektrische Fahren Nickel-Metallhydrid-Batterien. Diese verfügen, bei einer Zellspannung von 1,2 Volt, über eine hohe Energiedichte, so dass diese Batterie als Traktionsbatterie geeignet ist. Allerdings hat diese Batterie den entscheidenden Nachteil des Alterungseffektes. Dieser kann durch das Einhalten eines definierten Ladefensters, in dem die Batterie idealerweise betrieben werden soll, verringert werden.

Super- bzw Ultracaps

Vor allem in den Power-Hybrid Prototyp Fahrzeugen von BMW (wie im X3 und X5 Efficient Dynamics) werden Supercaps eingesetzt. Bei Supercaps handelt es sich um Zwei-Schicht- Kondensatoren (im englischen Dual Layer Capacitors genannt). Supercaps verfügen über eine sehr hohe Leistungsdichte aber auch über eine sehr geringe Energiedichte. Die Zellspannung beträgt 2,5 Volt. Kondensatoren sind im Hinblick auf Tieftemperaturen eher beschränkt einsetzbar. Zudem sind diese Art Kondensatoren sehr kostenintensiv. Super- bzw. Ultracaps sind für Mild- und Power-Hybridsysteme geeignet.

Fazit:

	Blei	NiMH	NiCd	Supercab	Li-Ion
Sicherheit	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★
Kosten	★★★★	★★	★★	★	★★
Zellspannung	★	★★	★★	★★★★★	★★★★
Kälteverträglichkeit	★★	★	★★★★	★★	★★
Energiedichte	★	★★★★	★★★★	★	★★★★★
Umwelt	★★	★★★★	★	★★	★★★★
Einsetzbarkeit	★★	★★	★★	★★	★★★★
Verfügbarkeit	★★★★	★★★★	★★	★★	★
Lebensdauer	★	★★	★	★★★★★	★★★★

Abbildung 2: Bewertungsmatrix Eigenschaften von Akkumulatoren

Für die Elektrofahrzeuge der Zukunft ist der Lithium-Ionen-Akku zumindest technisch derzeit die optimale Batterie. Vor allem im Bereich der Energiedichte kann dieser Akku punkten. So würde eine Bleibatterie für ein Elektrokleinfahrzeug mit einem Energiegehalt von 20 kWh eine Tonne wiegen, während die Nickel-Metallhydrid-Batterie ca. 300 kg und letztendlich der vergleichbare Lithium-Ionen-Akku nur 130 kg wiegt [15]. Wie bereits erwähnt sind die Ressourcen für diesen Akku nur beschränkt verfügbar, so dass der Weltvorrat gerade einmal 1 Mio. Fahrzeuge abdecken könnte. Der weltweite Markt besteht jedoch aus 500 Mio. Fahrzeugen, so dass in diesem Bereich noch Innovationen stattfinden müssen. Dabei ist es fraglich, ob das letztendlich nicht die Flucht aus einer Abhängigkeit in eine andere bedeuten würde.

2.1.3.2 Tankstationen

Der größte Vorteil von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist, dass in sehr kurzer Zeit komplett aufgetankt werden können, während Elektrofahrzeuge sehr lange Ladezeiten und zudem auch nur begrenzte Reichweiten von unter 200 km haben. In manchen Ländern wird daher verstärkt nach Lösungen für dieses Problem gesucht.

Die Israelische Firma „better place“ will innerhalb der nächsten 3 Jahre das Reichweite-Problem lösen, indem in Israel überall E-Zapfsäulen (mit Starkstrom) zur Verfügung stehen sollen [30]. Hauptursache ist, dass Israel selbst keine großen Ölvorkommen hat und daher nicht vom Erdöl abhängig sein will (politischer Hintergrund).

Es soll ein rundum-sorglos-Paket entstehen, bei dem ein Fahrzeug innerhalb von 20 min bis 30 min geladen werden kann und dann wieder eine Reichweite von 200 km

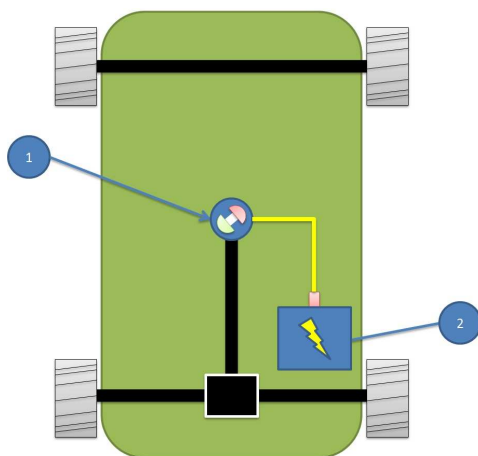
hat. Über ein intelligentes Informationssystem weiß das Fahrzeug, wann, wo und wie lange eine Zapfsäule besetzt ist oder frei steht. Die Zapfsäule selbst erkennt dabei das Fahrzeug und kann so ohne Personal die Ladekosten abrechnen. Wenn keine Zeit zum Aufladen ist, soll die Batterie getauscht werden (automatische Anlage).

2.1.3.3 Energieherstellung

Um alle Autos in Deutschland mit Strom zu versorgen, steigt der Stromverbrauch nach aktuellen Szenarien gerade mal 6% bis 20 % an. [31]

Auch wenn die Elektrofahrzeuge gerne als „Zero-Emission-Cars“ dargestellt werden, so ist jedenfalls die in Deutschland hergestellte Energie für diese Fahrzeuge nicht emissionsfrei. Unter dem Projektnamen „Desertec“ planen derzeit Konzerne die größte Ökostrominitiative aller Zeiten. Für 400 Milliarden Euro wollen sie Sonnenkraftwerke in der Wüste Afrikas bauen, um ca. 15 % des Energiebedarfs von Europa zu decken [32]. Vergleichbare Projekte sind bereits in der Mojave-Wüste in Kalifornien und im spanischen Sanlucar La Mayor realisiert worden. Allerdings ist der Strom aus diesem Projekt noch in weiter Ferne, so würde die Realisierung der Anlage ca. 10 Jahre benötigen.

2.1.3.4 Elektromotor mit Speisung aus Akkumulatoren



1. Elektromotor

2. Akkumulator mit Leistungselektronik

Abbildung 3: Fahrzeug mit E-Antrieb

Diese Art Fahrzeug wird über einen Elektromotor angetrieben, welcher durch Batterien und eine dementsprechende Leistungselektronik versorgt wird. Die Batterien werden dabei auf zwei Arten geladen. Zum einen kann beim Bremsen der Elektromotor als Generator genutzt werden, zum anderen wird das Fahrzeug beim Parken über Strom aus der Steckdose aufgeladen (sogenannte plug-in-Fahrzeuge).

Fahrzeuge mit Elektromotor sind dabei keine Neuerfindung, denn um 1900 gab es in den USA doppelt so viele Elektrofahrzeuge wie Fahrzeuge mit Otto-Verbrennungsmotoren. Der bisherige Höhepunkt der Elektrofahrzeug-Herstellung war 1912, wo 20 Hersteller insgesamt 33.842 Elektrofahrzeuge hergestellt haben. [29]

2.1.4 Hybride

Allgemein versteht man unter einem Hybriden eine Art Zwitter, der aus zwei verschiedenen Dingen besteht. In der Automobiltechnik handelt es sich hierbei um den Antrieb, der aus einem herkömmlichen, häufig Benzinmotor besteht und zudem aus einem oder mehreren Elektromotoren. Aber es gibt viele Kriterien und Unterschiede in den vielen bestehenden Systemen.

Im Laufe des letzten Jahrzehnts haben sich mehrere Hybridvarianten mehr oder weniger durchgesetzt. Das bekannteste Beispiel ist wohl der Vorreiter Toyota mit dem Prius, der inzwischen in der 4. Generation auf den Markt kommt.

Aufgrund der Kombination eines Elektromotors mit einem Verbrennungsmotor gibt es mehrere Möglichkeiten beide Antriebe optimal zu nutzen.

Betriebsarten

Mit Betriebsarten ist gemeint, in welchen Kombinationen die Antriebe miteinander arbeiten.

Boosten

Beim Boosten wird das Fahrzeug durch beide Antriebe (Verbrenner und elektrisch) angetrieben, so dass sich das Antriebsmoment beider Antriebe addiert. Dies führt zu einer enormen Beschleunigung und die Elektromotoren verfügen, unabhängig von der Drehzahl, über ein sehr hohes Moment. Diese Option ist somit Leistungssteigerung und kann die Kaufentscheidung des Kunden positiv beeinflussen (umweltfreundlich und dennoch dynamisch).

Elektrisch Fahren

Bei diesem Modus wird das Fahrzeug lediglich durch die E-Maschine angetrieben, welche von der Batterie gespeist wird. Während dieser Phase ist das Fahren emissions- und nahezu lautlos.

Generatorbetrieb

Während dieser Phase dient der Verbrennungsmotor direkt oder indirekt (Range-Extender) zum fahren. Dabei wird dem Verbrennungsmotor mehr Moment abverlangt als nötig wäre um das Fahrzeug anzutreiben. Dieses überschüssige Moment wird dazu genutzt, um mittels der Elektromotoren die Batterie zu laden. Während dieser

Phase wird der Verbrennungsmotor im Betriebspunkt gefahren, der vom Wirkungsgrad her ideal ist.

Rekuperieren

Um das Fahrzeug beim Bremsvorgang zu verzögern, werden bei herkömmlichen Fahrzeugen Scheiben- oder Trommelbremsen eingesetzt, die mittels Reibung die kinetische Energie des Fahrzeugs in Wärmeenergie umwandeln, die dann wiederum vollständig verloren geht.

Hier wird über Elektromotoren ein großer Teil in elektrische Energie umgewandelt und in der Batterie gespeichert. Problematisch ist, dass diese Bremsenergie meist in sehr kurzen Zyklen und in voller Größe zur Verfügung steht und Batterien derzeit eher ungeeignet sind, um solche Energiemengen aufzunehmen.

Segeln

Hier ist weder der Verbrennungsmotor noch der Elektromotoren aktiv. Dieser Modus ist dann sinnvoll, wenn das Fahrzeug bergab fährt und die Batterien voll sind. Bei konventionellen Fahrzeugen ist dies auch als Schubabschaltung bekannt.

Start / Stop

Sobald das Steuergerät merkt, dass das Fahrzeug zum Stillstand (Ampel, Stopstelle) gebracht werden soll (z.B. fährt langsamer 7 km/h), wird der Verbrennungsmotor abgeschaltet. Sobald der Fahrer von der Bremse geht und wieder auf das Gaspedal drückt, springt der Motor von selbst wieder an.

Plug-in

Unter Plug-in wird verstanden, dass der Akkumulator des Fahrzeugs über eine Steckdose geladen werden kann.

Klassifizierung

Hybridantriebe verfügen über die unterschiedlichsten Kombinationen aus Elektro- und Verbrennungsmotoren. Daher ist es eine gängige Art Hybride nach Leistung der elektrischen Maschine zu unterscheiden.

Micro-Hybrid

Der Micro-Hybrid ist eigentlich kein echter Hybrid, denn der elektrische Motor ist sehr schwach und nicht zum Fahren geeignet. Er ist vergleichbar mit einem herkömmlichen Fahrzeug, bei dem man auch mit dem Starter das Fahrzeug einige Meter bewegen könnte. Unterschied ist, dass der Generator des Micro-Hybriden direkt auf der Kurbelwelle sitzt und somit permanent mit dreht und auch als Generator verwendet wird. Daher kommt der Micro-Hybrid lediglich als Start-Stop Automatik bzw. als optimierter Generator zum Einsatz.

Funktion:

- Start & Stop
- Optimierter Generatorbetrieb

Mild-Hybrid

Der Mild-Hybrid ist im Vergleich zum Mikro-Hybriden in der Lage den Verbrennungsmotor beim Fahren direkt zu unterstützen. Dennoch wird er nicht zum reinen elektrischen Fahren eingesetzt. Der Mild-Hybrid ist in der Lage das Drehmoment des Verbrennungsmotors anzuheben und kann beim Bremsen die Energie, die bisher in Wärme umgewandelt wurde, nutzen, um die Batterien aufzuladen. Sollten die Batterien nicht komplett aufgeladen sein, kann der Mild-Hybrid genutzt werden um in Drehzahlbereichen, in denen sich der Verbrennungsmotor in einem optimalen Wirkungsgrad befindet, Leistung abzuziehen. So können die Batterien geladen und diese Energie zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung gestellt werden.

Funktion:

- Start & Stop
- Optimierter Generatorbetrieb
- Boosten
- Rekuperation

Voll-Hybrid

Voll-Hybride sind aufgrund ihrer recht starken Elektromotoren in der Lage auch rein elektrisch zu fahren. Am Beispiel Toyota Prius kann man sehen, dass mit diesem Antrieb rein elektrisches Fahren bis 50 km/h möglich ist. Meist sind die Reichweiten von wenigen Kilometern noch relativ gering.

Funktion:

- Start & Stop
- Optimierter Generatorbetrieb
- Boosten
- Rekuperation
- Elektrisch Fahren

Power-Hybrid

Der Power-Hybrid stellt eine besonders starke elektrische Antriebsleistung zur Verfügung und ist lediglich eine Ausprägung eines Voll-Hybriden. Daher verfügt er natürlich über dieselben Funktionalitäten wie der Voll-Hybrid.

Funktion:

- Start & Stop
- Optimierter Generatorbetrieb
- Extremes Boosten
- Rekuperieren
- Elektrisch Fahren

Eigenschaften	Mikro	Mild	Voll	Power
Leistung E-Maschine [kW]	2-3	10-15	15-50	>> 50
Spannung [V]	12	42 - 150	> 100	>> 100
Verbrauchsreduzierung [%]	5-10	15-20	> 20	> 20

Abbildung 4: Einteilung Hybridsysteme nach Motorleistung

Funktionalität	Mikro	Mild	Voll	Power
Start & Stop	X	X	X	X
Optimierter Generatorbetrieb	X	X	X	X
Boosten		X	X	X
Rekuperieren		X	X	X
Elektrisch Fahren			X	X

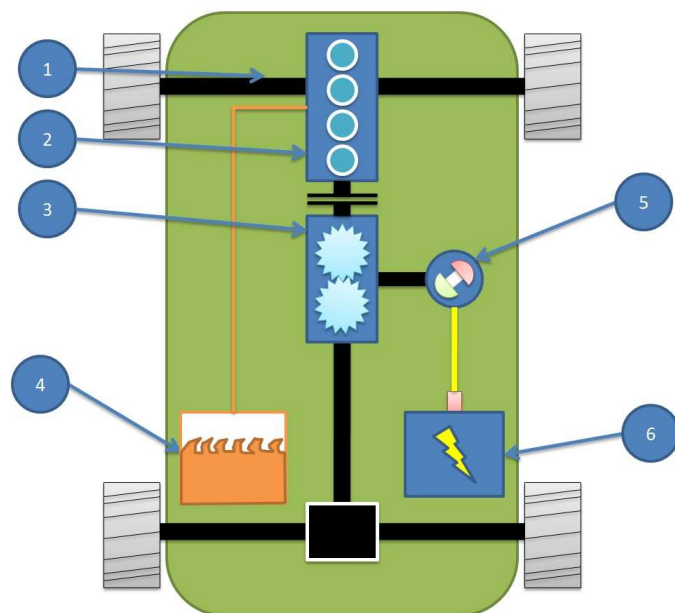
ABBILDUNG 5: MÖGLICHE FUNKTIONEN IN ABHÄNGIGKEIT DES HYBRIDSYSTEMS

Hybrid-Bauarten

Es gibt mehrere Möglichkeiten wie die Antriebe von Hybridfahrzeugen miteinander verbunden werden können. Jede hat dabei individuelle Vor- und Nachteile, so dass je nach Bauart nur manche Betriebsmodi verfügbar sind.

a) Parallel-Hybrid

Beim Parallel-Hybriden kann das Fahrzeug entweder nur von einem einzelnen Antrieb angetrieben werden oder von beiden gleichzeitig. Wie der Name vermuten lässt, sind die Antriebe parallel mit dem Antriebsstrang verbunden. Aufgrund der Möglichkeit, dass sich diese beiden Antriebe ergänzen, ist man beim Parallel-Hybriden in der Lage den Verbrennungsmotor kleiner zu dimensionieren (downsizing), ohne Antriebsleistung oder Dynamik einzubüßen. Daher ist es möglich Kosten und im Ver-



1. Verbrennungsmotor
2. Kupplung
3. Getriebe
4. Kraftstofftank
5. Elektromotor
6. Akkumulator mit Leistungselektronik

Abbildung 6: Parallel-Hybrid

gleich zu anderen Hybridvarianten auch Gewicht zu sparen. Des Weiteren kann der Kraftstoffverbrauch reduziert werden und aufgrund von Drehzahl-Optimierung kann

auch an „downspeeding“ (Verringern der Motordrehzahl) gedacht werden. Der Parallel-Hybrid wird derzeit häufig als Mild-Hybrid ausgeführt. Weiterhin ist die Anordnung in der Lage eine große Anzahl von Fahrmodi abzubilden.

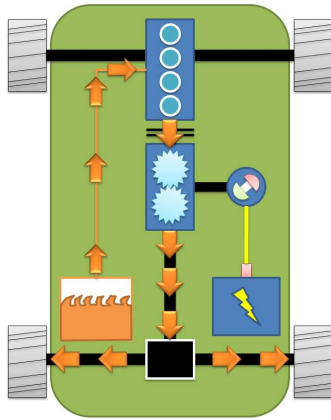


Abbildung 7: Konventionelles Fahren

Konventionelles Fahren

Wie in Abbildung 7 dargestellt, wird das Fahrzeug in diesem Modus vom Verbrennungsmotor angetrieben. Dabei entstehen geringe Wirkungsgradverluste, da der Elektromotor und die dazugehörigen Komponenten in diesem Betriebsmodus nicht aktiv und teilweise durch eine separate Kupplung vom Antrieb komplett abgekoppelt sind. Dieser Modus kommt hauptsächlich bei Geschwindigkeiten $< 50 \text{ km/h}$ oder bei

geringer Batteriespannung zum Einsatz.

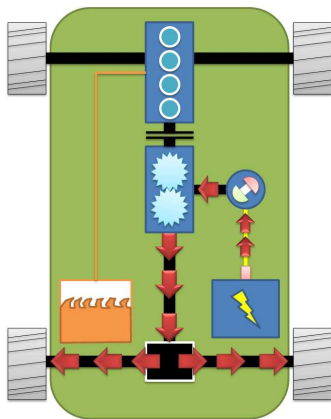


Abbildung 8: Elektrisches Fahren

Elektrisches Fahren

In dieser Phase wird das Fahrzeug lediglich durch seinen Elektromotor angetrieben. Die notwendige Energie wird dabei aus der Batterie entnommen und über die Leistungselektronik dem Elektromotor zugeführt. Der Verbrennungsmotor ist während dieser Phase ausgeschaltet. Dieser Modus kommt vor allem bei niedrigen Geschwindigkeiten, zum Anfahren und bei geladenen Akkus, zum Einsatz und verfügt über ein beinahe geräuschloses Fahren. Der Kraftfluss zwischen dem Verbrennungsmotor und Abtrieb ist dabei getrennt.

Boosten

Das Boosten dient der maximalen Beschleunigung bzw. zum schnellen Erreichen der maximalen Geschwindigkeit. In dieser Phase können sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor mit voller Leistung betrieben werden. Somit ergibt sich das maximal mögliche Abtriebsmoment, welches allerdings nur so lange möglich ist,

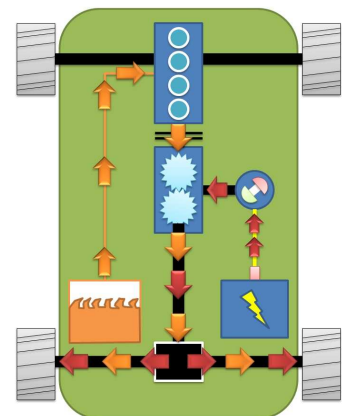


Abbildung 9: Boosten

wie die Batterien über ausreichend Kapazität verfügen. Dieser Modus eignet sich daher nicht, um lange Zeit maximale Geschwindigkeiten zu realisieren. Aufgrund dieser Leistungsaddition kann der Verbrennungsmotor kleiner gebaut werden, was somit eine Gewichtsreduzierung zur Folge hat.

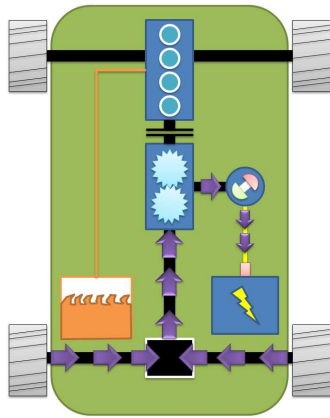


Abbildung 10: Rekuperieren

Rekuperieren

Der elektrische Antrieb wird während des Bremsvorgangs im Generatormodus betrieben. So kann die Bremsenergie zumindest teilweise in der Batterie zwischengespeichert werden. Um den Wirkungsgrad zu erhöhen, wird der Kraftfluss zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe mit Hilfe der Kupplung getrennt, so dass Bremsmomente des Verbrennungsmotors vermieden werden. Diese Energie kann später zum Anfahren genutzt werden.

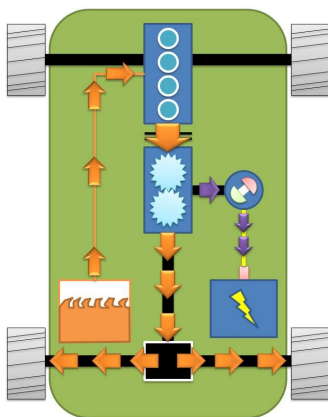


Abbildung 11: Lastpunktanhebung

Lastpunktanhebung

Der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors ändert sich in Abhängigkeit von Last und Drehzahl. Aufgrund mehrerer Faktoren gibt es Betriebspunkte bei denen der Wirkungsgrad mit höherer Last besser ist und daher der Kraftstoffverbrauch kaum zunimmt. Daher wird bei der Lastpunktanhebung der Elektromotor als Generator zugeschaltet und der Verbrennungsmotor in einem anderen Arbeitspunkt mit der höheren Last betrieben. So wird während des

Fahrbetriebs der Motor mit einem höheren Drehmoment betrieben als zum reinen Fahren notwendig wäre. Mit diesem überschüssigen Drehmoment wird über den Generator Strom erzeugt und die Batterie geladen. Das Fahrverhalten wird dadurch nicht beeinflusst und der Fahrer merkt keinen Unterschied zwischen Lastpunktanhebung und konventionellem Fahren.

Fazit Parallel-Hybrid

Vorteil des Parallelhybriden ist, dass die Antriebsleistung des Elektromotors variabel vordefiniert werden kann. Um jedoch alle Betriebsmodi verwenden zu können, sollte der Elektromotor wenigstens als Vollhybrid konfiguriert werden. Derzeitige Fahrzeu-

ge dieser Art sind im Premium-Segment beheimatet. Die mögliche rein elektrische Reichweite ist dabei eher gering. Daher wird ein Großteil der Fahrleistung mit dem Verbrennungsmotor realisiert werden. Um den Gesamtantrieb wirtschaftlicher zu machen, könnte es sinnvoll sein, den Elektromotor vom restlichen Antrieb situationsbedingt mittels einer elektrisch schaltbaren Kupplung abzukoppeln.

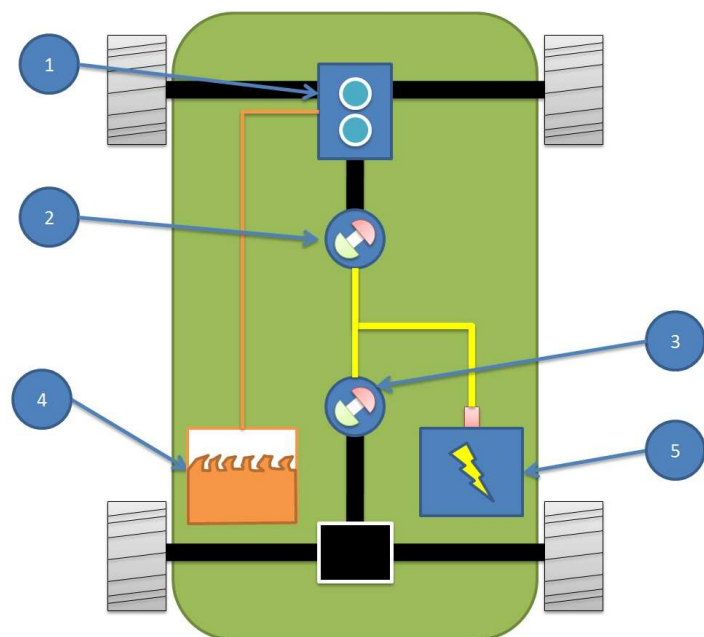
Der dominierende Antrieb in diesem Hybriden ist der Verbrennungsmotor. Da die Hybrid-Aggregate, wie Batterien, Elektromotor und Generator enorme zusätzliche Kosten bedeuten, wird dieser Verbrennungsmotor mit hoher Wahrscheinlichkeit als Ottomotor ausgeführt. Dieser muss nach wie vor über alle Drehzahl- und Lastbereiche so wirtschaftlich und umweltschonend wie möglich agieren.

Seriell-Hybrid / Range-Extender

Der Range-Extender muss nicht zwingend mit einem konventionellen Verbrennungsmotor realisiert werden. Bei dieser Antriebsvariante sind alle Konstellationen denkbar, bei denen elektrische Energie erzeugt wird. Als besonders exotisches Beispiel ist hier der Ford Nukleon zu nennen, von dem 1958 zwei Prototypen gebaut wurden. Dieses Fahrzeug konnte mittels Kernreaktor eine Reichweite von 5000 Meilen pro Ladung realisieren. [23]

Seriell-Hybrid mit Verbrennungsmotor

Die reinen Elektrofahrzeuge haben das Problem, dass sie nicht in der Lage sind große Reichweiten zurückzulegen. Der serielle Hybrid oder auch Range-Extender ist in der Lage, dieses Problem zu lösen indem er die notwendige Energie selbst erzeugt. Der serielle Hybrid verfügt daher ebenfalls über einen Verbrennungsmotor, der allerdings zwischen dem Abtrieb des Verbrennungsmotors und den Rädern über keine mechanische Verbindung verfügt. Der Verbrennungsmotor dient hier lediglich als Lieferant der elektrischen Energie, falls die



1. Verbrennungsmotor
2. Generator
3. Elektromotor
4. Kraftstofftank
5. Akkumulator mit Leistungselektronik

Abbildung 12: Serieller Hybridantrieb (Verbrennungsmotor)

Batteriespannung zu sehr absinkt. Sobald dieser Fall eintritt, wird der Verbrennungsmotor in einem idealen Wirkungsgradbereich betrieben und treibt somit den Generator an, der dabei den notwendigen Strom an den Antrieb liefert. Der ideale Wirkungsgrad muss nicht bedeuten, dass der Motor bei einer einzigen Drehzahl betrieben wird, je nach Fahrmodus können auch hier die Last und Drehzahl variiert werden. Dennoch wird angestrebt, dass der Verbrennungsmotor nur in bestimmten

Drehzahlen betrieben wird und überschüssige Energie als Strom in den Akkumulator überführt.

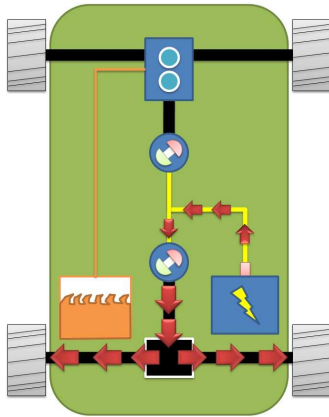


Abbildung 13: Elektrisch fahren

Elektrisches Fahren

Der serielle Hybrid ist von allen Hybriden der, der dem reinen Elektrofahrzeug am nächsten kommt. Auch hier wird der Elektromotor mit der Energie aus dem Akkumulator und der Leistungselektronik versorgt und über den Elektromotor die Maximalgeschwindigkeit erreicht. Ein Ziel ist es, maximale Distanzen rein elektrisch zu realisieren, ohne dass der Verbrennungsmotor genutzt wird. Daher wird hier

besonders auf den Leichtbau des Fahrzeugs geachtet, wodurch sich kleine Fahrzeuge für diesen Antriebstyp besonders eignen. Im diesem Modus ist der Verbrennungsmotor ausgeschaltet.

Boosten

Um ein maximales Antriebsmoment zu realisieren, wird der Elektromotor aus der Batterie gespeist und zusätzlich treibt der Verbrennungsmotor mit Nenndrehzahl den Generator an, so dass dieser ebenfalls elektrische Energie für den Antrieb zur Verfügung stellt. Dieser Betriebsmodus steht nur begrenzt zur Verfügung, da seitens des Akkumulators nur eine begrenzte Kapazität zur Verfügung steht, dennoch dürfte die notwendige Energie für einen solchen Vorgang relativ lange zur Verfügung stehen.

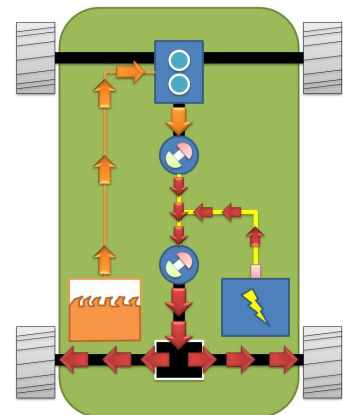


Abbildung 14: Boosten

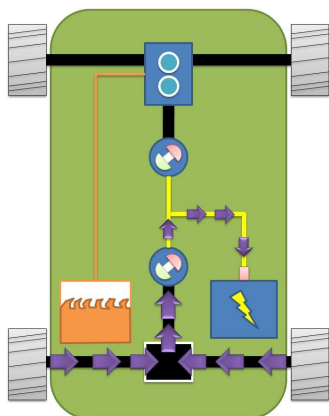


Abbildung 15: Rekuperieren

Rekuperieren

Während des Bremsvorgangs wird der Elektromotor als Generator genutzt, wodurch die Bremsenergie in elektrische Energie umgewandelt wird und der Akkumulator geladen wird. So steht die bisher verlorene Bremsenergie im Anschluss größtenteils zum Beschleunigen wieder zur Verfügung. In diesem Modus sind normalerweise Verbrennungsmotor sowie der mit dem Verbrennungsmotor mechanisch verbundene Generator abgeschaltet.

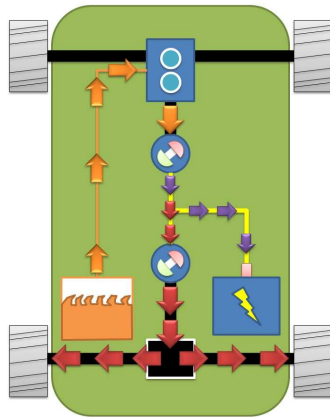


Abbildung 16: Lastpunktanhebung

Ladebetrieb

Sobald die Zellspannung der Akkumulatoren auf einen definierten Wert sinkt, wird der Verbrennungsmotor genutzt um die Batterien wieder zu laden. Dabei wird er im günstigsten Verbrauchspunkt betrieben und treibt so den Generator an. Die Energie des Generators teilt sich dabei auf und geht größtenteils direkt in den Akkumulator, während der Rest direkt zum Elektromotor geht, um das Fahrzeug anzutreiben. Dieser Modus bleibt so

lange aktiv, bis die Zellspannung wieder ein bestimmtes Niveau erreicht, oder fahrbedingt in einen anderen Modus gewechselt wird.

Fazit Seriell-Hybrid mit Verbrennungsmotor

Beim seriellen Hybriden kann der Verbrennungsmotor sehr klein ausgeführt werden, da er letztendlich nur in bestimmten Drehzahlbereichen eingesetzt wird. Zudem kann auf die komplexen Hightech-Systeme, die notwendig sind, um das gesamte Drehzahlband wirtschaftlich zu nutzen, weitestgehend verzichtet werden, so dass dieser Verbrennungsmotor nicht nur sehr klein wird, sondern auch sehr preisgünstig.

Um dennoch zu gewährleisten, dass ein solches Fahrzeug auch bei langen Strecken eingesetzt werden kann, muss dem Elektromotor immer genug Energie zur Verfügung stehen. Ein Nachteil des seriellen Hybriden ist die ungünstige Wirkungsgradkette. So muss der Verbrennungsmotor aufgrund der Wirkungsgradverluste im Generator und Elektromotor etwa das 1,2-fache der tatsächlich notwendigen Antriebsleistung zur Verfügung stellen, während der Generator das 1,1-fache der Antriebsleistung erzeugen können muss.

Daher wird in einem seriellen Hybriden die notwendige Antriebsleistung mehr als drei Mal verbaut. Zum Fahren tatsächlich nutzbar ist dann allerdings nur die schwächste dieser drei Maschinen. Wenn also das Fahrzeug im Ladebetrieb fährt, ist die Wirkungsgradkette dieses Antriebs sehr lang, weshalb auch versucht wird diesen Modus so selten wie möglich zu nutzen.

Seriell-Hybrid mit Solarzellen

Solarfahrzeuge zeichnen sich dadurch aus, dass die notwendige Energie aus der Strahlung der Sonne gewonnen wird. Dabei wird die Fahrzeugoberfläche wie in Abbildung 17 dargestellt, mit Solarzellen bestückt, die dann die Akkumulatoren oder den Elektromotor des Fahrzeugs direkt mit Strom versorgen. Besondere Vorteile dieser Antriebstechnologien sind, dass sie kostenlos nur durch Sonneneinstrahlung, geladen werden.

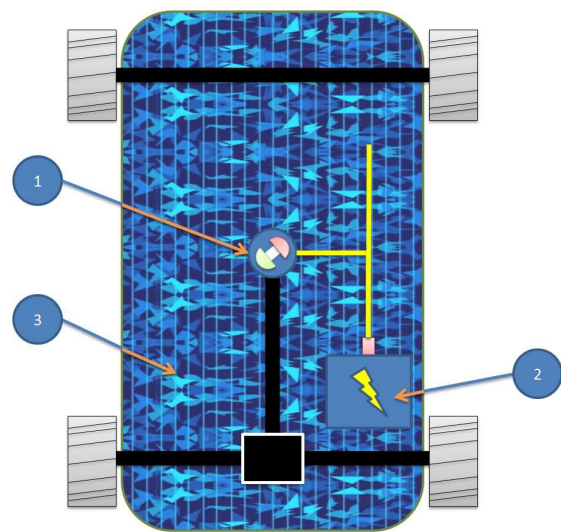
Die Solarzellen selbst verfügen über einen relativ schlechten Wirkungsgrad und sind in der Lage max. 20 % der Einstrahlung in Elektrizität umzusetzen. Würde man die Fahrzeugoberfläche optimal nutzen, würde, an einem sonnigen Tag und eingesetzten Hightech-Solarzellen eine Leistung von maximal 3 kW zur Verfügung stehen, was etwa 3% der derzeitigen durchschnittlichen Antriebsleistung von PKWs mit Verbrennungsmotor entspricht.

Dabei kennt das Solarfahrzeug 4 Fahrmodi:

- Fahren mit Energie aus der Batterie
- Fahren mit Energie aus den Solarzellen
- Boosten mit Energie aus der Solarzelle und der Batterie
- Rekuperieren - Speisen von Bremsenergie in den Akkumulator

Fazit Seriell-Hybrid mit Solarzellen

Ein Vorteil, den dieses Fahrzeug bieten würde, ist, dass der Akku auch im Stand geladen werden kann. Dennoch kann man sagen, dass dieses Fahrzeug zum heutigen Stand der Technik alles andere als alltagstauglich ist.



1. Elektromotor

2. Akkumulator

3. Solarzellen

Abbildung 17: Solarfahrzeug

Seriell-Hybrid mit Brennstoffzellen

Brennstoffzellen sind elektrochemische Elemente, die mittels katalytisch wirkender Elektroden chemische Energie direkt in elektrische Energie umwandeln. Dabei muss die Brennstoffzelle nicht erst den Kraftstoff in Wärme umwandeln um mechanische Energie zu gewinnen. Daher erreichen Brennstoffzellen Wirkungsgrade von bis zu 60%, während Verbrennungsmotoren im Vergleich ca. 40% erreichen. Brennstoffzellenfahrzeuge werden über Elektromotoren angetrieben, welche den Strom aus den Batterien und aus der Brennstoffzelle nutzen. In diesem Fall ist die elektrische Leistung, die solch ein Antrieb zur Verfügung stellen kann sehr groß und bei dem bereits jetzt schon realisierbaren Wirkungsgrad von 60 % auch wirtschaftlich. Daher müssen die Akkumulatoren nur so groß gewählt werden, dass die Rekuperierenergie zwischengespeichert werden kann. Hier würde sich der Einsatz von Supercaps anbieten (Siehe Kapitel 2.1.3.1), die Ladeströme aufnehmen können. Aufgrund der geringen zu speichernden Kapazität würden die Akkus in diesem Hybriden relativ wenig Gewicht ausmachen und ebenfalls die Kosten vergleichsweise gering halten.

Das Necar ("New Electric Car") war eines der ersten Brennstoffzellenfahrzeuge und verfügte 1994 bereits über eine Leistung von 55 kW. Bezüglich der Reichweite stehen Brennstoffzellenfahrzeugen konventionellen in nichts nach. Moderne PEM-FC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) sind in der Lage, elektrische Leistungen bis 250 kW zu liefern und werden bereits in Stadtbussen (MAN in München) verwendet.

Funktion und Anwendung

Bei der PEM-Brennstoffzelle wird zur Erzielung des katalytischen Effektes meist das Edelmetall Platin eingesetzt. Außerdem werden für die Reaktion Wasserstoff und Sauerstoff benötigt. Dabei besteht der Elektrolyt aus einer Polymermembran, die nur Protonen durchlässt, während Protonen und Elektronen durch Oxidation von Wasserstoff an der Anode entstehen.

Da die Protonen durch die Membran zur Kathode wandern, entsteht ein Potentialunterschied zwischen diesen Platten. Die Ruhespannung einer PEM-Brennstoffzelle liegt zwischen 0,6 und 0,9 V. Um letztendlich ein Fahrzeug mittels eines nachgeschalteten Elektromotors anzutreiben, müssen wie bei den Batterien mehrere Zellen in Reihen- und Parallelschaltungen verknüpft werden.

Diese Art der Brennstoffzelle ist in ihrer Handhabung sehr unkompliziert und die Leistungsabgabe lässt sich relativ einfach regeln. Daher ist die PEMFC besonders für den Einsatz in Fahrzeugen geeignet.

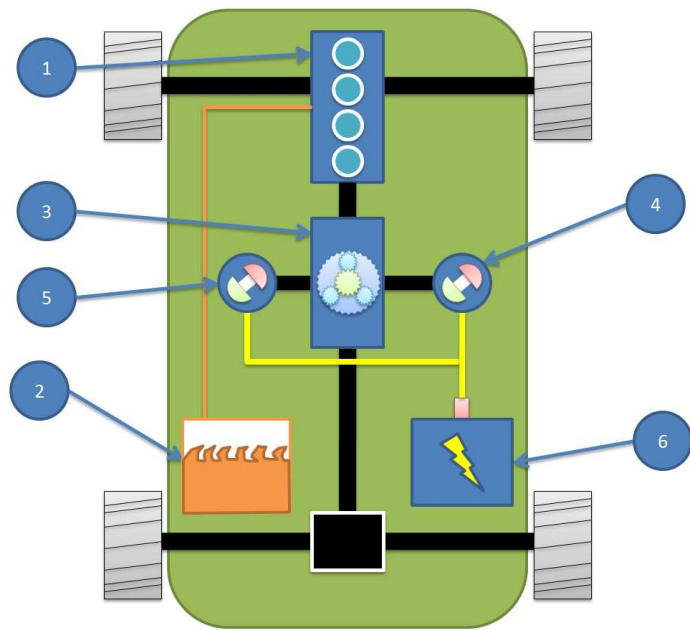
Fazit Seriell-Hybrid mit Brennstoffzellen

Derzeit stellt die Verfügbarkeit sowie die enorme Entzündungsgefahr bzw. Explosionsgefahr des notwendigen Wasserstoffs ein Problem dar. In Solarstromanlagen wie in dem beschriebenen Projekt von DesertTec könnte Wasserstoff (zusammen mit Sauerstoff) durch Elektrolyse von Wasser gewonnen werden. Allerdings ist der Aufbau solcher Elektrolyse-Anlagen derzeit noch sehr komplex und benötigt vor allem direkten Zugang zu Wasser und eine Kühlvorrichtung für den Wasserstoff, was in der Wüste durchaus problematisch ist. Eine attraktive Lösung wäre allerdings, den Wasserstoff auch durch katalytisches Cracken von Methanol herzustellen, was auch direkt im Fahrzeug möglich wäre. Die Sicherheitsproblematik würde dadurch stark entschärft, der Wirkungsgrad würde sich jedoch durch den Zusatzprozess ebenfalls verringern.

Des Weiteren ist der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle auch vom Reinheitsgrad des Sauerstoffs abhängig, so müsste für einen idealen Wirkungsgrad der Sauerstoff in Reinform ebenfalls mit transportiert werden.

Powersplit-Hybrid

Der Powersplit-Hybrid verfügt, ebenso wie der serielle Hybrid, über zwei Elektromotoren mit dem Unterschied, dass hier zwischen Verbrennungsmotor und Rädern eine mechanische Verbindung besteht. Dennoch ist der Verbrennungsmotor auch hier nicht in der Lage, ohne das Einwirken der Elektromotoren das Fahrzeug anzutreiben. Herzstück dieses Antriebs ist ein sehr ausgeklügeltes Planetengetriebe, das eine stufenlose Übersetzung, ähnlich dem CVT-Getriebe, ermöglicht. Daher wird beim Powersplit-Hybrid die Antriebsleistung sowohl elektrisch als auch mechanisch verzweigt, wodurch es seinen Namen bekam.



1. Verbrennungsmotor
 2. Kraftstofftank
 3. Getriebe
 4. Elektromotor
 5. Generator
 6. Akkumulator mit Leistungselektronik
- Abbildung 18: Powersplit-Hybrid

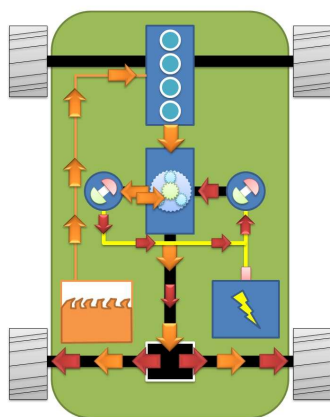


Abbildung 19: Konventionelles fahren

Konventionelles Fahren

Genau genommen ist das konventionelle Fahren mit dem Powersplit nur bedingt möglich. Denn um dafür zu sorgen, dass ein Kraftschluss zwischen Verbrennungsmotor und Rädern entsteht, muss einer der Elektromotoren im Generatorbetrieb sein und ein Gegenmoment bewirken (Planetengetriebe). Dabei wirkt zum Beispiel das Drehmoment des Verbrennungsmotors auf das Sonnenrad,

während der Generator durch das Erzeugen eines Gegen- oder Bremsmoments das Planetenrad festhält, kommt am Hohlrad das gewandelte Drehmoment des Verbrennungsmotors an. Um dabei die elektrische Verlustleistung so gering wie möglich zu halten, wird die elektrische Energie in den Elektromotor eingespeist, der dann eben-

falls für Abtrieb sorgt, so dass lediglich der Wirkungsgrad der beiden Elektromotoren einen Energieverlust bewirkt.

Als Folge wird durch Generator und Elektromotor das Übersetzungsverhältnis und somit die Drehzahl des Verbrennungsmotors rein elektrisch und vollkommen stufenlos geregelt. Bekanntester Vertreter und echtes Serienfahrzeug ist der Toyota Prius.

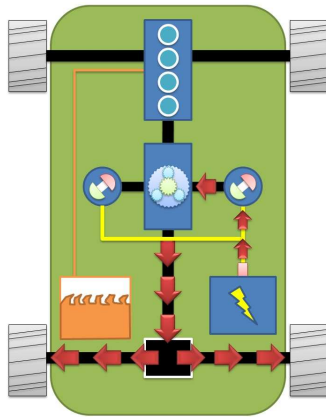


Abbildung 20: Elektrisch fahren

Elektrisch fahren

Der Antrieb erfolgt lediglich über den Elektromotor. Im Beispiel des Toyota Prius ist das Fahrzeug in der Lage Geschwindigkeiten bis ca. 50 km/h zu realisieren. Dies ist letztendlich mit einer relativ geringen Reichweite von ca. 2 bis 3 km verbunden. Die elektrische Energie stammt dabei aus der Batterie. In diesem Modus sind Verbrennungsmotor sowie Generator nicht in Betrieb, so dass ein beinahe geräuschloses Fahren erfolgen kann.

Boosten

Wie auch bei den anderen Modellen wird der Boostbetrieb nur kurzzeitig verwendet, um schnell auf hohe Geschwindigkeiten zu kommen bzw. um zu beschleunigen. Dabei wird der Verbrennungsmotor mit voller Last betrieben und gibt sein Moment in das Getriebe ab. Der Generator stellt wieder das Gegenmoment, so dass eine Kraftübertragung des Verbrennungsmotors zum Abtrieb zu Stande kommt. Die dadurch gewonnene elektrische Energie des Generators wird wieder direkt in den Elektromotor gespeist, der zusätzlich noch aus der Batterie versorgt wird und ebenfalls das Fahrzeug antreibt. Somit addieren sich die einzelnen Antriebsmomente, so dass sich das maximale Abtriebsdrehmoment ergibt.

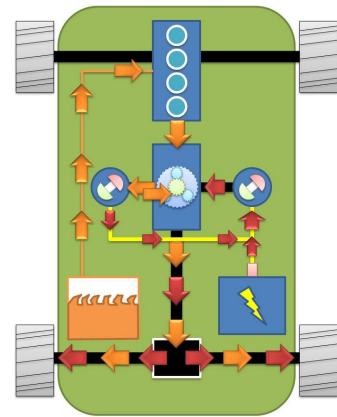


Abbildung 21: Boosten

Rekuperieren

Auch im Fall des Powersplit-Hybriden wird das Fahrzeug beim Abbremsvorgang nicht nur durch die konventionelle Bremsanlage verzögert, sondern auch, indem der Elektromotor als Generator verwendet wird. Genauso wie bei allen anderen Hybridfahrzeugen wird auch hier die gewonnene kinetische Energie in den Akkumulatoren gespeichert, um dann beim Antrieb wieder verwendet werden zu können. Generator und Verbrennungsmotor sind dabei nicht in Betrieb.

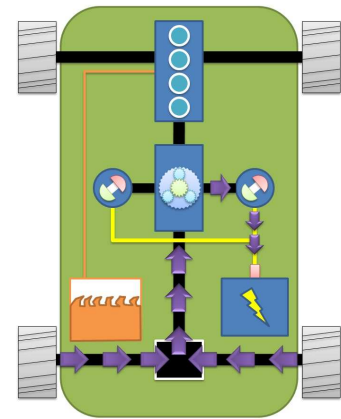


Abbildung 22: Rekuperieren

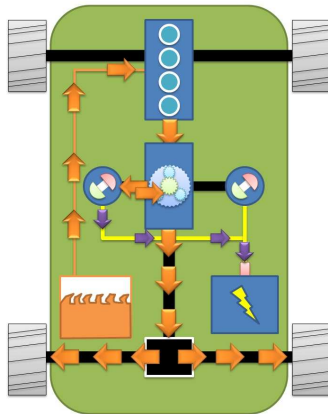


Abbildung 23: Lastpunktanhebung

Lastpunktanhebung

Wie beim normalen Fahrbetrieb wird das Drehmoment im Planetengetriebe an die Antriebswelle übertragen, indem der Generator ein Gegenmoment liefert. Dieses Gegenmoment erzeugt Energie, welche beim normalen Fahrbetrieb wieder dem Elektromotor zugeführt wird und für zusätzlichen Antrieb sorgt. In diesem Betriebsmodus wird diese Energie größtenteils genutzt um die Batterien zu laden. Es wird versucht den Verbrennungsmotor in einem idealen Betriebspunkt zu halten, in dem der Verbrennungsmotor über einen größeren Wirkungsgrad verfügt.

Fazit Powersplit-Hybrid

Der bekannteste Powersplit-Hybrid ist der Toyota Prius, bei dem durch eine sehr ausgeklügelte Anordnung der einzelnen Antriebe alle Fahrmodi als Vollhybrid realisierbar sind. Wie beim Parallel-Hybriden ist allerdings auch hier die mögliche rein elektrische Reichweite eher gering, so dass auch dieser Antrieb eher zur Wirkungsgradverbesserung des Verbrennungsmotors dient. Auch hier wird ein Großteil der Fahrleistung mit dem Verbrennungsmotor realisiert.

b) Two-Mode-Hybrid

Der Two-Mode-Hybrid ist das Ergebnis einer Kooperation von Daimler, General Motors und BMW. Bei Daimler wird dieses System im ML 450 angeboten und bei BMW im X6. Bei beiden Modellen sind zwei E-Motoren mit je 55 kW in das Hybrid-Getriebe integriert, welches sowohl den stufenlosen Betrieb des Powersplit-Hybriden als auch zusätzlich vier feste Übersetzungen bereitstellt.

Herzstück ist das stufenlose und aufwendige EVT-Getriebe (Electric Continuously Variable Transmissi-

on), welches über 3 Planetensätze, zwei Elektromotoren, vier Kupplungen und eine Ölpumpe verfügt, wobei die Elektromotoren wie beim Powersplit-Getriebe in manchen Betriebszuständen eine stufenlose Übersetzung ermöglichen.

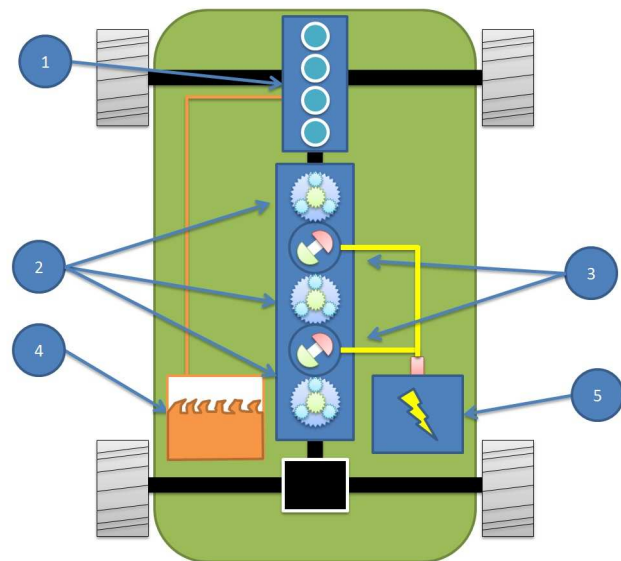
Wie der Name vermuten lässt, stehen dem Two-Mode zwei grundsätzliche Fahrmodi zur Verfügung. Wobei einer davon hauptsächlich für den Stadtverkehr mit niedriger Geschwindigkeit und niedriger Last gedacht ist und der andere für die Überlandfahrt bzw. Fahrten mit hoher Last.

Mode 1

Der stufenlos variable Modus 1 (Mode 1) kommt immer dann zum Zug, wenn geringe Geschwindigkeiten und geringe Lastzustände vorhanden sind, also vom Motorstart bis zum zweiten festen Gang. Dabei kann jeder Antrieb alleine oder es können auch beide gemeinsam das Fahrzeug antreiben.

Mode 2

Der zweite, ebenfalls stufenlose, variable Modus kommt bei hohen Drehzahlen oder großen Lasten zum Einsatz. Hier können Elektromotor und Verbrennungsmotor oder nur der Verbrennungsmotor alleine als Antrieb eingesetzt werden.



1. Verbrennungsmotor
 2. Planetengetriebe
 3. Elektromotoren
 4. Kraftstofftank
 5. Akkumulator mit Leistungselektronik
- Abbildung 24: Two-Mode-Hybrid

Dabei überlagern die vier Gänge mit festem Übersetzungsverhältnis Mode 1 und 2, so dass insgesamt sechs Betriebsarten zur Verfügung stehen. Dabei sind die Gänge 1 bis 4 mit festem Übersetzungsverhältnis gegeben:

1. Gang: Beide Elektromotoren stellen Leistung bereit oder liefern im Generatormodus Energie zu den Batterien.
2. Gang: Ein Elektromotor steht als Antrieb für den Beschleunigungsvorgang oder als Generator für den Verzögerungsvorgang zur Verfügung.
3. Gang: Beide Elektromotoren stehen als Antrieb für den Beschleunigungsvorgang oder als Generator für den Verzögerungsvorgang zur Verfügung.
4. Gang: Ein Elektromotor steht als Antrieb für den Beschleunigungsvorgang oder als Generator für den Verzögerungsvorgang zur Verfügung.

Fazit Two-Mode-Hybrid

Letztendlich handelt es sich um eine Hybrid-Technologie, die mit einem herkömmlichen Automatikgetriebe vergleichbar ist, welche aber teilweise eine stufenlose Übersetzung ermöglicht. Das gesamte Hybrid-Antriebssystem wird dabei kontinuierlich von einem elektronischen Steuergerät für jede Laststufe des Motors im effizientesten Betriebspunkt betrieben.

Dabei haben herkömmliche Hybrid-Systeme normalerweise nur eine Drehmomentverzweigung und keine festen mechanischen Übersetzungsverhältnisse. Diese Systeme übertragen, bedingt durch den mechanischen Aufbau, einen Großteil der Leistung elektrisch, wodurch der Wirkungsgrad ca. 20% geringer ist als der einer mechanischen Übertragung. Dies erfordert entweder einen deutlichen Kompromiss im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs oder den Einsatz von größeren Elektromotoren, was wiederum zu höheren Kosten, mehr Gewicht und einem höheren Platzbedarf führt.

Dennoch ist der Two-Mode-Hybrid technologisch sehr aufwendig und aufgrund der Steuerung auch kostenintensiv, so dass er derzeit nur für Premiumfahrzeuge attraktiv ist.

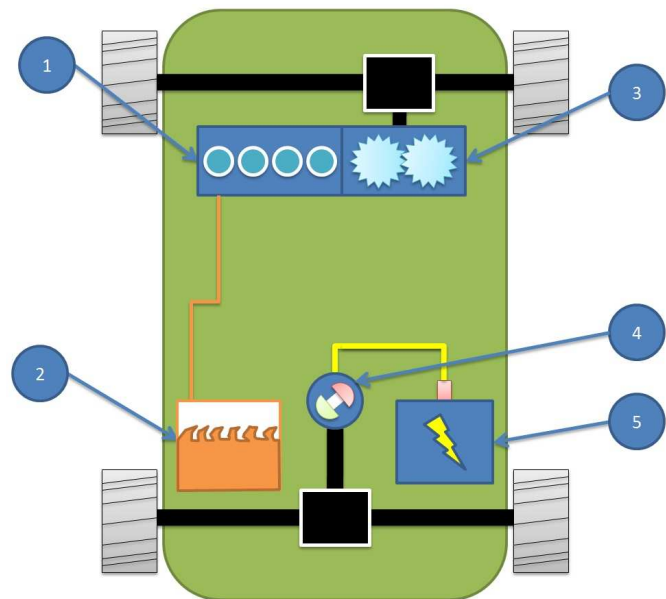
c) Through the Road-Hybrid

Der "Through the Road"-Hybrid zeichnet sich dadurch aus, dass im Fahrzeug keine mechanische Verbindung zwischen Elektroantrieb und Verbrennungsmotor besteht. Wie in der Abbildung 25 dargestellt, wird dabei eine Fahrzeugachse mit dem Verbrennungsmotor betrieben und die andere über einen Elektromotor. Die mechanische Verbindung der beiden Antriebe kommt erst durch die Straße zustande und ermöglicht somit die Hybridfunktionalität.

Da beim Bremsen der Elektromotor als Generator fungiert, ist es vorteilhaft den Elektromotor an der Vorderachse einzusetzen, da beim Bremsen die größte Fahrzeuglast auf dieser Achse liegt und somit das maximale Drehmoment auf den Elektromotor übertragen werden kann.

Konventionelles Fahren

Im konventionellen Betrieb ist hier kein Unterschied zum bisher bekannten Antrieb zu erkennen. Der Verbrennungsmotor muss daher wie bei einem herkömmlichen Motor über alle Drehzahlbereiche abgas- und kraftstofftechnisch optimiert werden und treibt dabei eine der Fahrzeugachsen an. Während des konventionellen Fahrens ist der elektrische Antrieb inaktiv.



1. Verbrennungsmotor
2. Kraftstofftank
3. Getriebe
4. Elektromotor / Generator
5. Akkumulator mit Leistungselektronik

Abbildung 25: Through the Road-Hybrid

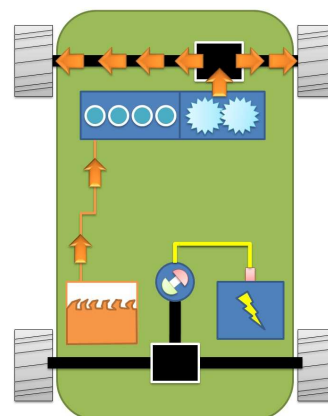


Abbildung 26: Konventionelles Fahren

Elektrisches Fahren

Das elektrische Fahren ist hier das Pendant zum konventionellen Fahren. Während der Verbrennungsmotor komplett inaktiv ist, wird das Fahrzeug über den elektrischen Antrieb betrieben. Der elektrische Antrieb treibt hierbei jedoch die andere Achse an.

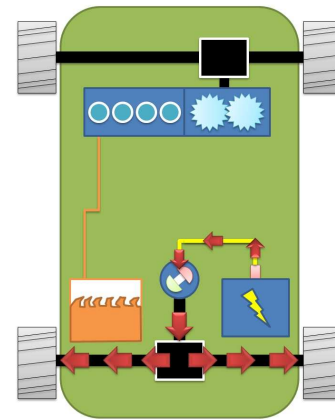


Abbildung 27: Elektr. Fahren

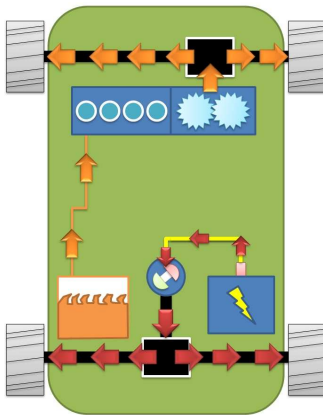


Abbildung 28: Boosten

Boosten

Auch beim Through-the-Road-Hybrid wird das Fahrzeug während des Boost-Modus gleichzeitig durch Verbrennungsmotor und Elektromotor angetrieben. Dadurch summieren sich die Drehmomente der Antriebe. Da sich bei diesem Hybriden das Drehmoment auf zwei Achsen aufteilt und dies so gleichmäßig auf die Straße überträgt, sind in diesem Betriebsmodus die Verluste durch Schlupf vergleichsweise gering.

Rekuperieren

Während des Bremsvorgangs ist der Verbrennungsmotor komplett inaktiv. Durch die Kupplung ist der Kraftfluss zwischen Getriebe und Verbrennungsmotor unterbrochen, so dass die Kurbelwelle nicht mitgeschleppt wird und so ein Bremsmoment erzeugt. Zeitgleich wird, wie bei den andern Hybriden der Elektromotor als Generator genutzt um die Bremsenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Diese Energie wird dann ebenfalls in der Batterie zwischengespeichert und kann zum Anfahren wieder genutzt werden. Im Vergleich zu den andern Hybriden ist die Steuerung hier relativ simpel.

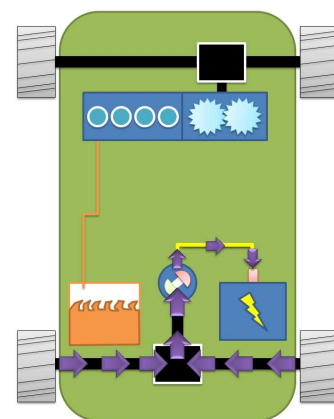


Abbildung 29: Rekuperieren

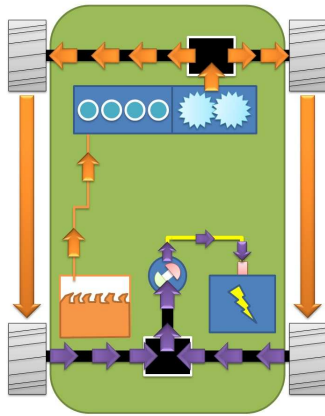


Abbildung 30: Lastpunktanhebung

Lastpunktanhebung

Auch beim Through-The-Road-Hybrid wird der Elektromotor als Generator zugeschaltet, um die Batterie zu laden. Dabei wird der Verbrennungsmotor in einem optimalen Betriebspunkt betrieben. Hier entsteht aber ein entscheidender Nachteil dieser Variante. Der Verbrennungsmotor bringt mehr Drehmoment auf die Straße, als er für den Antrieb des Fahrzeugs benötigt, während der Generator das Fahrzeug abbremst. Dies führt letztendlich zu

erhöhtem Verschleiß der Reifen, da die beiden Achsen in unterschiedliche Fahrtrichtungen arbeiten, dies ist vergleichbar mit dem Fahren bei angezogener Handbremse.

Fazit Through-The-Road-Hybrid

Der Through-The-Road-Hybrid hat wesentliche Vor- und Nachteile. Ein Vorteil ist die einfache Regelung der einzelnen Antriebe und dass beide voneinander unabhängig konstruiert werden können. Dabei bietet sich der Einsatz sogenannter Radnabenmotoren an, die sich direkt auf der Achse im Bereich des Antriebsrades befinden. Ein Nachteil dieses Hybriden ist, dass während der Lastanhebungsphase aufgrund der Reibkräfte auf der Fahrbahn unnötig hoher Reifenverschleiß die Folge sein kann.

3 Auswertung der Recherche

In Deutschland waren zum 01.01.2009 41.321.171 Fahrzeuge zugelassen. Dabei verfügen 99% über den konventionellen Antrieb, also einen Verbrennungsmotor (s. Abb.31). Somit ist dieser Antrieb unangefochten die dominierende Antriebsmaschine der Vergangenheit und Gegenwart. Fraglich ist jedoch, welcher Antrieb sich in Zukunft durchsetzen wird.

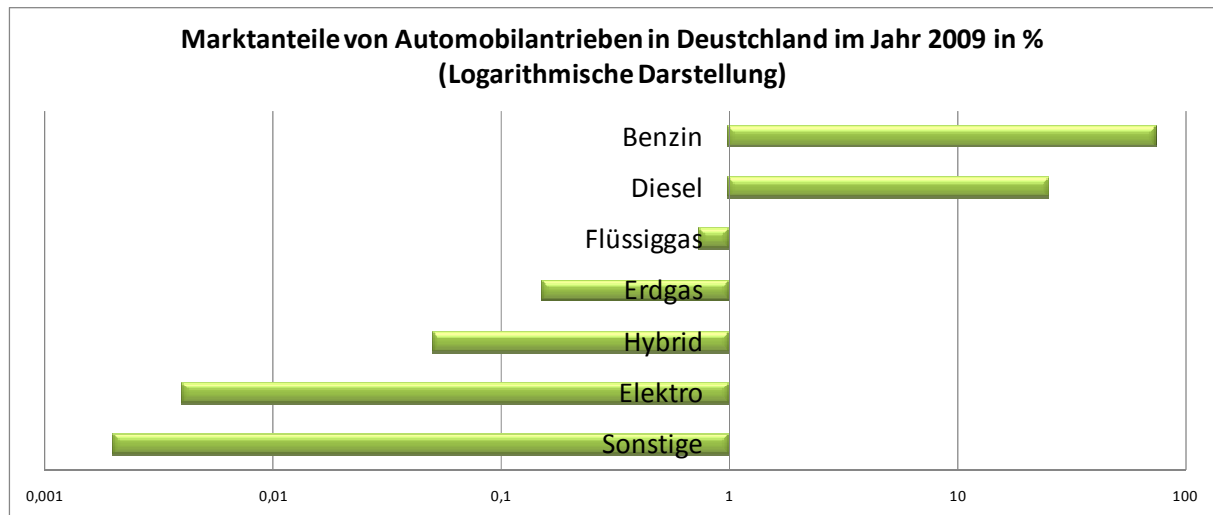


Abbildung 31: Marktanteile von Automobilantrieben in Deutschland [12]

3.1 OEM, Kunden & technische Realisierbarkeit

Die Automobilindustrie befand sich insbesondere 2009/10 aufgrund der Wirtschaftslage in einer schwierigen Situation. So hat die Abwrackprämie im Jahr 2009 zu einem enormen Absatz an Kleinwagen geführt, obwohl die finanzielle Situation der Konsumenten ebenfalls angespannt war.

Dabei sind die OEMs und die Konsumenten die Entscheidungsträger für die Technologie von morgen. Beide Gruppen vertreten teilweise sehr unterschiedliche Interessen und werden zudem von der technischen Realisierbarkeit eingeschränkt. Um besser einschätzen zu können welche Technologien sich durchsetzen könnten, werden nun die einzelnen Perspektiven separat betrachtet.

3.1.1 Konsumenten

Die Interessen der Kunden sind die ausschlaggebenden Faktoren wenn es darum geht, ob sich ein Produkt am Markt behaupten kann oder nicht. Dennoch können sie auch nur zwischen den Produkten wählen, die es am Markt gibt, so dass der Herstel-

ler, der ein maximales Matching mit den Käuferinteressen realisieren kann, eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit hat, dass sein Produkt gekauft wird.

3.1.1.1 Ist-Stand 2009

Laut Kraftfahrtbundesamt verfügen derzeit ein Prozent der deutschen Autos über einen alternativen Antrieb. Der größte Anteil dieses Prozents sind nicht etwa Elektrofahrzeuge oder Hybridantriebe, sondern Verbrennungsmotoren, die mit Gas betrieben werden. So verfügen derzeit ca. 0,054 % der Fahrzeuge über einen Hybridantrieb und gerade einmal 0,004 % über einen reinen Elektroantrieb. Zu beobachten ist, dass in den letzten Jahren der Anteil an Elektrofahrzeugen nicht bemerkenswert gewachsen ist.

3.1.1.2 Konsumenten-Interessen

Laut der Aral-Studie 2009 können sich 36 % der Deutschen vorstellen, ein Elektrofahrzeug zu kaufen. Dabei sind die Erwartungen an ein solches Fahrzeug recht hoch, 71% fordern von so einem Fahrzeug eine Reichweite von mindestens 300 km, während 25 % mindestens 150 km erwarten und gerade einmal 2 % wären mit einer Reichweite von 60 km zufrieden. Im Moment sind reine Elektrofahrzeuge, mit Ausnahme des Tesla Roadsters, kaum in der Lage dauerhaft Reichweiten von mehr als 100 km zu gewährleisten.

Die Ergebnisse der Aral-Studie haben gezeigt, dass die Käufer zu alternativen und umweltfreundlichen Antrieben tendieren, aber kaum bereit sind einen Mehrpreis zu bezahlen. Laut der Umfrage dürfte der Mehrpreis kaum 2000 € überschreiten und gerade einmal 4% waren bereit mehr als 3000 € zusätzlich zu bezahlen. Tatsächlich sind als Beispiel durch den technologischen Mehraufwand eines Hybriden 2000 € kaum erreichbar, auch der Tesla Roadster mit einem Anschaffungspreis von mehr als 100.000 € dürfte nicht im Budget der meisten Konsumenten liegen. Alleine die Akkus dürften diese 2000 €-Grenze ohne weiteres überschreiten.

Die meisten Hybride ermöglichen zwar durch den Boost-Modus einen kompakteren, kleineren und somit günstigeren Verbrennungsmotor, aber dennoch ist die zusätzliche Investition in Steuergeräte, Leistungselektronik, Akkumulatoren und nicht zuletzt den Elektroantrieb selbst notwendig. Dies ist heute mit 2.000 € nicht realisierbar.

Laut DAT-Report 2009 lag der Durchschnittspreis über alle Fahrzeugsegmente bei 25.990 €. Um nun die potentielle Käuferschicht anzusprechen, dürfte das Alternativfahrzeug 27.990 € kosten. Als Beispiel würde der Range Extender Opel Ampera um

die 30.000 € kosten, läge also 2000 € über der Toleranzschwelle. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass es sich dabei um einen Kleinwagen handelt, der im Hinblick auf Komfort eher spartanisch ausgestattet sein dürfte.

Die Weltwirtschaftskrise hat Ihre Spuren hinterlassen, laut der Aral-Studie berücksichtigen 60% der Deutschen beim Neuwagenkauf den Verbrauch, sowie die Wirtschaftlichkeit. Im Vergleich dazu waren es 2008 noch 51%. Besonders interessant ist dabei, dass das Preis-Leistungs-Verhältnis bei 59% der Deutschen einen entscheidenden Anteil ausmacht.

So könnten Plug-in Hybride sehr attraktiv werden, wenn der Kraftstoffpreis für Verbrennungsmotoren weiter ansteigt und die Kosten für Akkumulatoren fallen.

Während die Anforderungen an die Sicherheit von ehemals 66% auf 56% gefallen sind, was wohl weniger an einem nachlassenden Verlangen nach Sicherheit liegt, als vielmehr an der Tatsache, dass Sicherheitssysteme in heutigen Neuwagen in Deutschland zur Standardausrüstung gehören. Laut DAT-Report ist beispielsweise der Fahrer- und Beifahrer-Airbag mit 99% häufiger verbaut als ein Autoradio (98%).

3.1.2 Automobilhersteller OEM

Die technische Realisierbarkeit hängt vom Goodwill der Automobilhersteller ab. Denn er entscheidet, wie viel Ressourcen er in die Entwicklung alternativer Antriebskonzepte investiert. Es ist nicht gesagt, dass der OEM ein gesteigertes Interesse an solchen Antrieben hat.

3.1.2.1 Kapital, Kapazität

Die Automobilhersteller haben sich in den letzten Jahrzehnten darauf konzentriert die Verbrennungsmaschine und den Wirkungsgrad dieses Antriebs zu verbessern. Daher haben sie gerade in diesem Bereich sehr viele Kapazitäten gebündelt. Diese bestehen nicht nur aus Wissen in Form von Schriftstücken und Dateien, sondern auch aus gigantischen Investitionen in Fertigungsanlagen, Maschinen und Personal, welches lediglich diese Art von Antrieb fertigen kann. Sollten die OEMs von heute auf morgen auf einen neuen Antrieb wie den Elektromotor umsteigen, würde dieses Kapital unmittelbar an Wert verlieren, daher entsteht bei den Automobilherstellern ein Interessenkonflikt. Zum einen besteht der Wunsch, so lange wie möglich die vorhandenen Ressourcen auszuschöpfen und Investitionen zurückzuholen, zum anderen gilt es den Technologietrend nicht zu verpassen.

3.1.2.2 Werbung

Laut Marketing wird mittels Werbung versucht, ein bisher latentes Bedürfnis des Kunden in ein bewusstes Bedürfnis umzuwandeln. Folglich werden dem Kunden die Vorteile bzw. der spezielle Wert eines Produktes angepriesen, wodurch ein bewusstes Bedürfnis geweckt werden soll.

Tatsächlich werden von den Automobilherstellern die aktuellen Automobile beworben, die hauptsächlich über Verbrennungsmotoren verfügen. Im Fokus steht dabei die Hybridtechnologie. Gerade auf dem US-amerikanischen Markt werden, durch gezieltes Product-Placement in TV-Shows (z.B. CSI), Pickups durch die Bezeichnung Hybrid als besonders umweltschonend präsentiert.

Die Bezeichnung Hybrid steht inzwischen für Effizienz, Sparsamkeit und Umweltbewusstsein. So werden gerade auf dem US-amerikanischen Markt Fahrzeuge mit Start-Stop-Automatik verkauft und können so als Hybride ausgezeichnet werden.

Es ist zu beobachten, dass die Automobilhersteller zwar sehr häufig mit Umweltbewusstsein werben, dabei aber meist ihre optimierten Verbrennungsmotoren bewerben.

3.2 Prognose der einzelnen Antriebe

3.2.1 Der konventionelle Antrieb

Aufgrund der vielfältigen Forschungsaktivitäten wird der Wirkungsgrad weiter gesteigert werden. Dies wird durch Zuwachs von technischen Helfern im Bereich der Sensorik als auch Aktuatorik möglich werden. Eine McKinsey Studie spricht hier von 50% bei Ottomotoren und 15% bei Dieselmotoren. Dabei wird der Herstellungspreis solcher hoch technologischer Antriebe deutlich steigen.

Diese Wirkungsgradverbesserungen werden es alternativen Antrieben schwer machen in den Markt zu dringen, da die bewährte Technik, die in großer Stückzahl gefertigt wird, immer einen Kostenvorteil haben wird, so dass alternative Antriebe fast nur durch Subventionen preislich attraktiv werden können. Aufgrund der weltweiten wirtschaftlichen Lage ist allerdings zu befürchten, dass die Finanzmittel aufgrund der Konjunkturpakete für Alternativantriebe begrenzt sind.

Ferner dürfte der prognostizierte Mehrverbrauch an Rohöl geringer ausfallen als erwartet, die McKinsey Studie spricht von 10% anstelle von 30% bis zum Jahr 2020.

Da zum einen der Wirkungsgrad von Dieselmotoren besser ist als der von Ottomotoren und das Image der Dieselfahrzeuge in Europa nicht schlecht ist, hat der Dieselantrieb gerade in Europa gute Chancen Marktanteile zu gewinnen.

3.2.2 Erdgas

Erdgas ist laut Kraftfahrtbundesamt der erfolgreichste Alternativantrieb. Ursache dafür ist, dass Fahrzeuge mit einem Ottomotor mit überschaubaren Kosten von ca. 2000 € (www.abart.eu) sehr einfach umgerüstet werden können und sich diese Kosten, aufgrund der geringen Besteuerung des Kraftstoffs, innerhalb ca. 20.000-40.000 km wieder amortisiert haben. Allerdings ist eine Vermarktung durch die OEMs mit wenigen Ausnahmen ausgeblieben. Es ist offensichtlich, dass wenn der Anteil an Gasfahrzeugen enorm zunimmt, auch die Besteuerung des Erdgases steigen wird und somit dieser Antrieb wieder unattraktiver werden würde. Der zukünftige Erfolg hängt daher vor allem davon ab, ob der Staat diesen Antrieb weiter mit niedrigen Steuern subventioniert und wie sich die Kraftstoffpreise für Benzin und Diesel verhalten.

Aufgrund der natürlichen Vorkommen und der Infrastruktur, hat Erdgas in Europa und China größeres Potential als in Nordamerika und Japan. In leichten Nutzfahrzeugen könnten Erdgasmotoren den Dieselmotoren Konkurrenz machen und laut McKinsey zwischen 5 und 20 Prozent an Marktanteil gewinnen.

3.2.3 Hybride

Gerade die Verbindung von Elektro- und Verbrennungsmotoren wird eine weitere Wirkungsgradsteigerung der konventionellen Antriebe zur Folge haben. Daher hat dieser Antrieb auch die größte Erfolgswahrscheinlichkeit. Aufgrund der vielen Komponenten, sind diese Antriebe im Vergleich zu einem konventionellen Standardantrieb teurer. Der unmittelbare Benefit für den Konsumenten bleibt dabei eine bei Bedarf enorme Leistungsstärke (Boost) in Kombination mit einer erhöhten Effizienz. Die prognostizierte Kraftstoffersparnis kann vermutlich den höheren Anschaffungspreis nicht kompensieren. Bei einer kompletten Energiebilanz, die auch den Energie-Mehrverbrauch bei der Herstellung des Fahrzeugs berücksichtigt, wird die Umweltfreundlichkeit eines solchen Fahrzeugs wieder stark geschmälert. Das größte Potential haben die Hybridfahrzeuge derzeit in Nordamerika sowie Japan. Zum einen ist

der Hybrid in den USA ein Trendfahrzeug, während in Japan aufgrund des Herstellers Toyota eine gewisse Verbundenheit zu diesem Antrieb besteht.

3.2.4 Brennstoffzelle

Aufgrund der enormen Kosten wird die Brennstoffzelle im kommenden Jahrzehnt wahrscheinlich nicht mit einem nennenswerten Markterfolg rechnen können. Sowohl die fehlende Infrastruktur als auch die teure Herstellung des Treibstoffs und die hohe Gefährdung von Fahrzeuginsassen macht es dieser Technologie schwer Marktanteile zu gewinnen.

3.2.5 Elektrofahrzeuge

Bei einem konstanten Strompreis und steigenden Rohölpreisen würden besonders die Plug-in Hybride aufgrund von vergleichsweise geringen variablen Kosten eine enorme Marktattraktivität gewinnen. Sollte zudem noch der Preis für Akkumulatoren enorm sinken und die Kapazität steigen, würde das Elektrofahrzeug eine echte kostengünstige Alternative darstellen. Somit steht und fällt das reine Elektrofahrzeug mit dem Akkumulator.

4 Zusammenfassung

Der Automobilmarkt verfügt über eine große Vielfalt und eine hohe Komplexität an Antriebsvarianten. Dies ist bedingt durch zunehmende Anforderungen, regional abhängige Randbedingungen (Gesetze, Emissionsanforderungen, etc.) sowie Interessenkonflikte bei den Herstellern.

Dabei müssen die Regierungen zwischen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Interessen abwägen und entscheiden. Die daraus resultierenden Emissions-Grenzwerte können große Auswirkungen auf die zukünftigen Antriebe haben. (Beispiel: Kaliforniens Zero-Emission Vehicle).

Auch der Konsument wird seine Anforderungen anpassen müssen. Die Elektrofahrzeuge sind aufgrund ihrer relativ geringen Kapazität nicht in der Lage große Strecken bei vollem Komfort zurückzulegen. Sollte der Konsument weiterhin enorme Ansprüche bezüglich Komfort und Sicherheit, wie z.B. Klimaanlage, Autoradio, etc. haben, wird sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Reichweite solcher Fahrzeuge wieder enorm reduziert.

Was die Zukunft des Automobils angeht, scheint es sicher zu sein, dass der größte Teil der Fahrzeuge auch während der nächsten Jahrzehnte über einen Verbrennungsmotor verfügen wird. Diese Fahrzeuge werden durch Maßnahmen wie Downsizing, Downspeeding, variable Ventilsteuerung, weniger Kraftstoffverbrauch und durch verbesserte Abgasnachbehandlung weniger Emissionen erzeugen als jemals zuvor. Dennoch wird der Antrieb kein Zero-Emission-Fahrzeug sein.

Dabei wird der Marktanteil von Hybridfahrzeugen weltweit und besonders in den USA und Japan weiter wachsen können. Während in Europa und China zudem noch die Gasfahrzeuge an Marktanteilen gewinnen können. Der Erfolg des reinen Elektrofahrzeugs wird sich wahrscheinlich erst nach der Entwicklung eines verbesserten Akkumulators und eines Umdenkens der Konsumenten einstellen können.

Quellen

Literaturquelle Schriften

Bücher

- /1/ Handbuch Kraftfahrzeugtechnik
von Hans-Hermann Braess und Ulrich Seiffert
5. Auflage
Vieweg Verlag 2007
- /2/ Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik
von Rolf Gscheidle
28. Auflage
Europa Verlag 1999
- /3/ Meisterwissen im Kfz-Handwerk
von Ralf Deußen, Volkert Schlüter, Jörg Schmidt, Axel Sprenger, Carl-Heinz Zobel
3. Auflage
Vogel Verlag 2007
- /4/ Kraftfahrtechnisches Taschenbuch
von Robert Bosch GmbH
26. Auflage
Vieweg + Teubner Verlag 2007
- /5/ Technologie-Roadmapping
von Martin G. Möhrle und Ralf Isenmann
2. Auflage
Springer Verlag 2005
- /6/ Elektromagnete
von Kallenbach, Eick, Quendt, Ströhla, Feindt, Kallenbach
3. Auflage
Vieweg+ Teubner 2008

Skripte und Magazine

- /7/ Vorlesungsskript: Technologie und Innovationsmanagement 2008
Prof. Dr.-Ing Manz
- /8/ ADAC Motorwelt
Stand 2008 – 2009
- /9/ Automotor und Sport
Ausgaben 1998 bis 2009
- /10/ Technik Profi
Ausgaben 2005 bis 2009

Literaturquelle Internet

Generelle Quelle

- /11/ Öl-Report
http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/2008-05-21_EWG_Erdoelstudie_D.pdf
- /12/ Shell PKW-Szenarien bis 2030
http://www.shell.de/home/content/deu/aboutshell/our_strategy/scenarios_2050/
- /13/ Magnet-Kupplungen
<http://www.ktr.com>
- /14/ Kupplungen
<http://www.stromag.com/deutsch/index.html>
- /15/ Hybrid Fahrzeuge
<http://www.hybrid-autos.info/>
- /16/ Hybrid Fahrzeuge
<http://www.motorlexikon.de/>

Online Artikel

- /17/ Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center:
<http://www.afdc.energy.gov/afdc/>
- /18/ Automotive DesignLine:
http://www.automotivedesignline.com/showArticle.jhtml?articleID=216200179&cid=NL_autodl
- /19/ Fuel Economy: Hybrid Vehicles
<http://www.fueleconomy.gov/feg/hybridAnimation/swfs/hybridframe.html>
- /20/ NY Times: New Honda Takes on Prius
http://www.nytimes.com/2009/03/21/business/21hybrid.html?_r=2&ref=automobiles
- /21/ Focus Online: Porsche Cayenne; Dickschiff mit Hybrid
http://www.focus.de/auto/neuheiten/studie/tid-6937/porsche-cayenne_aid_67683.html
- /22/ Mann+Hummel: Sekundärluftlader
<http://www.mann-hummel.com/company/index.html?iKeys=3.2.193.1.2&cScr=60&imaNo=2>
- /23/ Damninteresting: The Atomic Automobile
<http://www.damninteresting.com/the-atomic-automobile>
- /24/ Umwelt Lexikon: Selektive katalytische Reduktion
<http://www.umweltlexikon-online.de>
- /25/ nature: Informationen zu Schnell ladenden Batterien
<http://www.nature.com/nature/journal/v458/n7235/abs/nature07853.html?lang=en>
- /26/ Spiegel Online: Super Akku
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,612711,00.html>
- /27/ KFZ-Technik: Turbolader
<http://www.kfz-tech.de/Turbolader.htm>

-
- /28/ Zukunft Elektroauto
http://zukunft-elektroauto.de/pageID_8368819.html
- /29/ Elektroauto-Tipp: Zukunft Elektroauto
<http://www.elektroauto-tipp.de/>
- /30/ better place: Zukunft Ladestationen von Elektrofahrzeugen
<http://www.betterplace.com/solution/charging/>
- /31/ wiwo: Dem Elektroantrieb gehört die Zukunft
<http://www.wiwo.de/technik-wissen/dem-elektroantrieb-gehoert-die-zukunft-298706/4/>
- /32/ Desertec: Das Desertec Konzept
<http://www.desertec.org/de/konzept/>
- /33/ Aral Forschung: Adblue
<http://www.aral.de/aral/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011608&contentId=7021972>

Der Automobylantrieb ist eng mit dem globalen wirtschaftlichen Erfolg und dessen Wachstum verbunden. Nie zuvor konnten größere Distanzen von so vielen Individuen und Gütern in so kurzer Zeit zurückgelegt werden. Aufgrund der aktuellen wirtschaftlichen und ökologischen Lage sind die Automobilbauer gefordert Antriebe zu entwickeln, die möglichst geringe Emissionen mit einem maximalen Wirkungsgrad und dennoch großen Reichweiten ermöglichen.

Dabei verfügt der Automobilmarkt über eine große Vielfalt und aufgrund der zunehmenden Anforderungen und regional abhängigen Randbedingungen (Gesetze, Emissionsanforderungen, etc.) sowie dem Interessenkonflikten bei den Herstellern über eine hohe Komplexität.

Auch der zukünftige Endverbraucher hat Anforderungen an sein Fahrzeug. Wie groß ist die Reichweite eines Elektrofahrzeugs? Wie kann diese bei Bedarf gesteigert werden? Sind diese Antriebe wirklich effizient?

Um diese Fragen beantworten zu können, muss der aktuelle Stand der Technik näher beleuchtet werden, so dass die teilweise geringen Unterschiede, gerade bei Hybridsystemen, nachvollzogen werden können und die individuellen Vorteile sichtbar werden.

Letztendlich wird klar, dass sich der Antrieb verändern wird und trotz, oder gerade wegen der zunehmenden Elektrifizierung und Hybridisierung, wird dennoch der Verbrennungsmotor die dominante Antriebsquelle über einen längeren Zeitraum bleiben.

Schlüsselwörter: Hybridisierung, Elektromobilität, Verbrennungsmotor, alternative Antriebe, Technologieanalyse

Der Autor Thomas Schiepp, wurde 1976 in Konstanz geboren. Nach seinem Diplomstudium an der Hochschule Konstanz absolvierte der gelernte Kraftfahrzeugmeister ein Masterstudium und schloss 2009 als Master of Engineering an der Fakultät Maschinenbau ab.

Der Autor Markus Straub wurde 1982 in Überlingen geboren. Der ausgebildete Industriemechaniker schloss ebenfalls nach seiner Ausbildung zum Diplomingenieur ein Masterstudium im Jahr 2009 an der Hochschule Konstanz in der Fakultät Maschinenbau erfolgreich ab.

Prof. Dr. Carsten Manz ist Dekan der Fakultät Maschinenbau an der Hochschule Konstanz und vertritt u.a. den Themenbereich „Technologie- und Innovationsmanagement“. Er war vor seiner Tätigkeit an der Hochschule in leitenden Funktionen in der Luft- und Raumfahrtindustrie tätig.



HTWG Konstanz 2011

ISBN 978-3-939638-18-1
ISSN 1862-7722